

Abgrenzung von Wetterlagen im zentralen Alpenraum

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der

Philosophischen Doktorwürde

vorgelegt der

Philosophischen Fakultät II

der

Universität Zürich

von

Walter Kirchhofer

von Auenstein AG

1972

Begutachtet von den Herren Prof. Dr. Max Schüepp
und Prof. Dr. Hans Boesch

Erscheint gleichzeitig als Heft Nr. 23 in der Reihe der Veröffentlichungen
der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt

City-Druck AG, Zürich

1971

Abgrenzung von Wetterlagen im zentralen Alpenraum

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der

Philosophischen Doktorwürde

vorgelegt der

Philosophischen Fakultät II

der

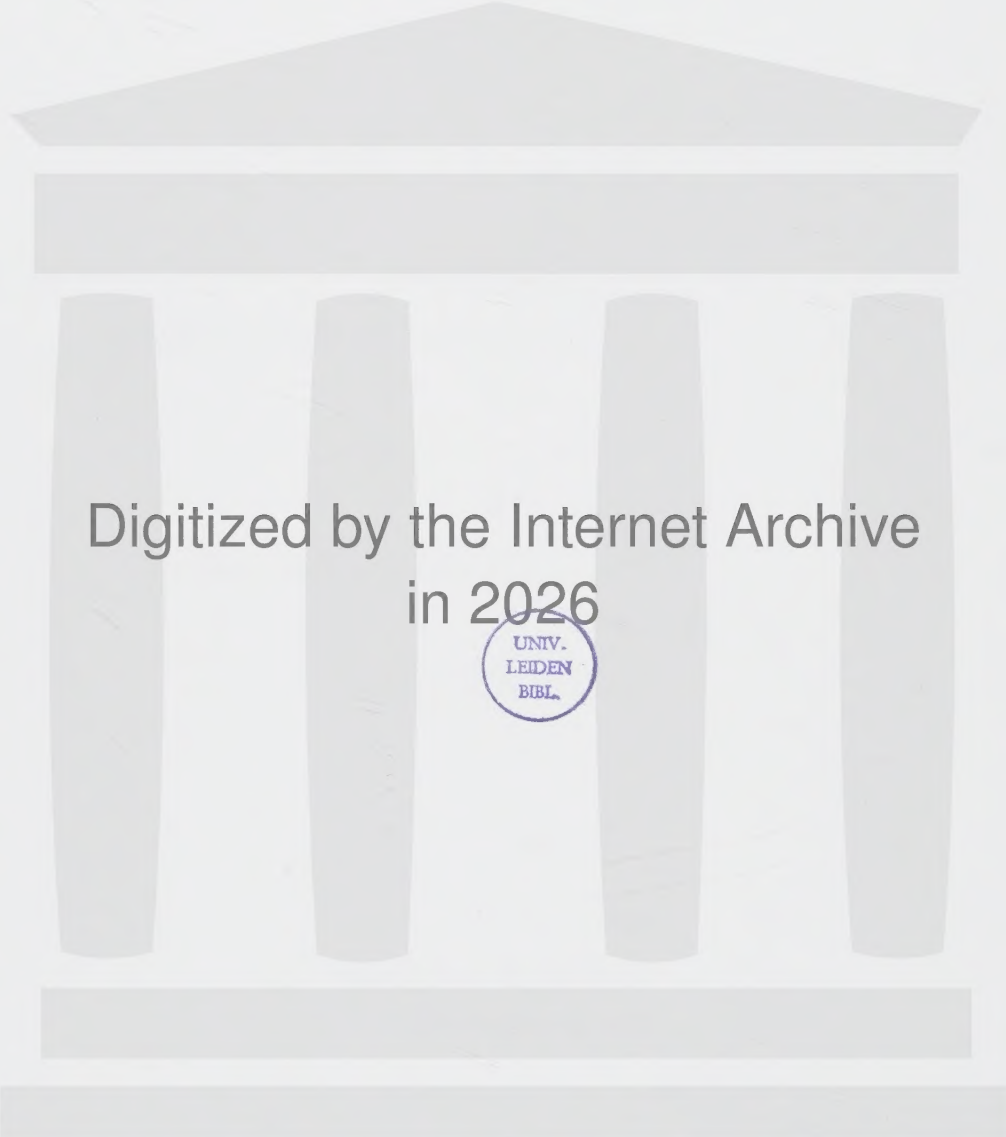
Universität Zürich

von

Walter Kirchhofer

von Auenstein AG

Begutachtet von den Herren Prof. Dr. Max Schüepp
und Prof. Dr. Hans Boesch



Digitized by the Internet Archive
in 2026



Vorwort

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Rahmen eines vom Schweizerischen Nationalfonds unterstützten Forschungsprojektes, welches sich mit der Auswertung klimatologischer Daten befasst, durchgeführt.

Den folgenden Personen möchte ich recht herzlich danken:

Herrn Prof. Dr. H. Boesch,	Direktor des Geographischen Institutes der Universität Zürich, für die Studienberatung und die Unterstützung meiner Arbeit,
Herrn Prof. Dr. M. Schüepp	für die Betreuung der vorliegenden Arbeit und für seine spontane Hilfsbereitschaft bei der Lösung meteorologischer Probleme,
Herrn PD Dr. Th. Ginsburg,	Leiter des obengenannten Forschungsprojektes, für die Mittel, die er mir zur Verfügung stellte und für sein Interesse an meiner Arbeit,

den Herren Prof. W. Kuhn, Dr. H.W. Courvoisier, Dr. G. Gensler, Dr. Th. Gutermann und Dr. F. Mäder für verschiedene wertvolle Hinweise.

Im weiteren gilt mein Dank dem Personal der Meteorologischen Zentralanstalt Zürich für die stete Hilfsbereitschaft.

Meinen letzten und allerherzlichsten Dank möchte ich

meiner lieben Frau

vorbehalten. Durch ihren vollen Einsatz und mit grösstem Verständnis hat sie mir das Studium und damit auch die vorliegende Arbeit ermöglicht.

Walter Kirchhofer

Zürich, Mai 1971

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung, Résumé	5
Riassunto, Summary	6
I. Statistische Verfahren und automatische Datenverarbeitung	7
1. Lineare Regression	7
1.1. Einfache lineare Regression	7
1.2. Mehrfache lineare Regression	9
2. Lineare Korrelation	10
2.1. Einfache lineare Korrelation	10
2.2. Mehrfache lineare Korrelation	10
3. Faktorenanalyse	11
4. Automatische Datenverarbeitung	13
II. Arbeitsgrundlagen	14
5. Problemstellung	14
6. Das Untersuchungsgebiet und das verwendete Datenmaterial	14
6.1. Das Untersuchungsgebiet	14
6.2. Die Alpenwetterstatistikvariablen	14
6.3. Die Stationsvariablen	17
III. Jahresgang und Modifikation der Variablen	19
7. Jahreszeitliche Verteilung der Strömungsverhältnisse	19
8. Klimatologischer Jahresverlauf ausgewählter Variablen	21
8.1. Jahresverlauf der absoluten und der relativen Topographien	22
8.2. Jahresverlauf der Temperatur und der Sonnenscheindauer	26
9. Modifikation ausgewählter Variablen	30
IV. Kriterien für die Trennung von Strömungslagen	34
10. Trennung aufgrund unterschiedlicher linearer Abhängigkeit	34
10.1. Anwendung der Faktorenanalyse	35
10.2. Durchführung der Regressions- und Korrelationsrechnung	38
10.3. Bemerkungen zum Trennkriterium	42
11. Trennung aufgrund klimatologischer Abweichungen	42
V. Klassifikation der Wetterlagen	43
12. Strömungslagen	43
12.1. Bodenstromlagen	44
12.2. Höhenstromlagen	48
12.3. Strömungslagen mit Boden- und Höhenströmung	52
13. Kernlagen	65
13.1. Wirbellagen	65
13.2. Schwachwindlagen	67
Literaturverzeichnis	69

Zusammenfassung

Für witterungsklimatologische Betrachtungen bildet eine Zusammenfassung ähnlicher Wettersituationen eine notwendige Voraussetzung.

Grossräumige meteorologische Elemente wirken sich auf kleinräumige Wetterabläufe je nach örtlichen Gegebenheiten, wie Relief und Höhenlage, verschieden aus. In unseren alpinen Gebieten kommt die orographisch bedingte Differenzierung des Wetterablaufes besonders deutlich zum Ausdruck.

In der vorliegenden Arbeit wird das Wettergeschehen kleinräumiger Gebiete bezüglich eines allgemeinen Druck- und Strömungsfeldes der Periode 1955 — 1968 untersucht. Die Bodendruckverteilung sowie die Strömung im 500-mb-Niveau, die sich auf den zentralen Alpenraum beziehen (Abb. 6.1), werden mit den Wetterelementen Temperatur, Sonnenschein und Niederschlag der diesen Alpenraum charakterisierenden Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano in Beziehung gebracht. Die Untersuchungen erfolgen für jede Station getrennt. Als Resultat erhalten wir stationsbezogene Wetterlagen und können somit die regional unterschiedlichen Wetterabläufe miteinander vergleichen.

Meteorologische Elemente weisen im allgemeinen einen deutlichen Jahresgang auf. Um eine zeitliche Aufteilung der verwendeten Messreihen — die den Jahresgang wohl brechen, die Zahl der Tage pro Wetterlage jedoch verkleinern würde — zu umgehen, werden sie vorerst transformiert.

Für sämtliche Strömungsfelder werden klimatologische Werte der Stationsvariablen Temperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlag berechnet sowie lineare Beziehungen zwischen diesen Variablen einerseits und den absoluten und relativen Topographien andererseits hergeleitet. Aufgrund solcher Zusammenhänge werden ähnliche Strömungslagen zu Wetterlagen zusammengefasst.

Die ausgewählten Wetterelemente Temperatur, Sonnenschein und Niederschlag zeigen eine Abhängigkeit bezüglich der Strömungsrichtung. Im weiteren besteht eine lineare Beziehung zwischen der Temperatur und der relativen Topographie 1000/500 mb. Demnach sind wir in der Lage, die Stationstemperaturen mit Hilfe der Variablen der Alpenwetterstatistik, die ihrerseits den Prognosenkarten entnommen werden können, zu prognostizieren.

Résumé

La compilation de situations météorologiques analogues constitue une hypothèse de travail indispensable à des considérations touchant la climatologie des types de temps.

Les éléments météorologiques à grande échelle provoquent, à petite échelle, des types de temps différents selon les conditions locales telles que relief et altitude. Cette différenciation orographique de l'évolution du temps est tout spécialement frappante dans les régions au relief tourmenté telles que nos Alpes.

Dans le présent travail, on examine l'évolution du temps dans des zones étroitement limitées par rapport à la répartition générale de la pression et des courants et cela durant la période comprise entre 1955 et 1968. On compare entre eux, d'une part et la répartition de la pression au sol et les courants au niveau de 500 mb se rapportant au centre de la région des Alpes (fig. 6.1), d'autre part des éléments météorologiques tels que température, durée d'insolation et précipitations. Pour ce faire, on utilise des stations caractéristiques de cette zone telles que le Säntis, Zurich, Genève, Davos et Lugano. La recherche a été effectuée séparément pour chacune de ces stations. Comme résultat, on obtient des classes de situations météorologiques générales se rapportant au temps observé à ces stations. Il est ensuite possible de comparer entre elles les différentes évolutions régionales du temps.

Les éléments météorologiques sont en général soumis à une évolution annuelle caractéristique. Afin d'éviter de fractionner les séries d'observations en périodes saisonnières — ce qui aurait bien pour effet de briser le rythme annuel, mais pour conséquence de diminuer le nombre de jours par situation générale — on a tout d'abord transformé les dites séries.

On calcule pour chaque station des valeurs climatologiques de la température, de la durée d'insolation et des précipitations correspondant à tous les champs de courants. On en tire des rapports linéaires entre ces variables d'une part, les topographies absolue et relative d'autre part. En partant de ces rapports, on réunit des champs analogues de courants pour déterminer des situations générales.

Les éléments météorologiques retenus (température, durée d'insolation et précipitations) dépendent nettement de la direction du courant. On a en outre pu établir un rapport linéaire entre la température et la topographie relative 1000 à 500 mb. On est ainsi en mesure de prévoir la température des stations de référence en partant des variables contenues dans la statistique du temps dans les Alpes, variables qui peuvent également être tirées directement des cartes en prévision.

Riassunto

Una raccolta di situazioni meteorologiche analoghe, costituisce una condizione necessaria per considerazioni di carattere climato-meteorologiche.

Elementi meteorologici in grande, si manifestano diversamente sull'andamento del tempo in piccolo, secondo le condizioni locali, come rilievo e altitudine. Nelle nostre regioni alpine la differenza dell'andamento del tempo, condizionata dall'orografia, viene messa chiaramente in evidenza.

In questo lavoro si esamina l'andamento del tempo in zone limitate in relazione ai campi generali della pressione e della circolazione per il periodo 1955 — 1968. La distribuzione al suolo della pressione atmosferica, come pure le correnti al livello di 500 mb, che si riferiscono alla regione alpina centrale (fig. 6.1), vengono messi in relazione con gli elementi meteorologici temperatura, durata dell'insolazione e precipitazioni delle stazioni caratteristiche per la regione alpina: Säntis, Zurigo, Ginevra, Davos e Lugano. Le ricerche sono effettuate separatamente per ogni stazione. Quali risultati otteniamo situazioni meteorologiche riferite alle stazioni e possiamo confrontare fra loro gli andamenti del tempo regionalmente differenti.

Gli elementi meteorologici presentano in generale un andamento annuale chiaro. Per evitare una suddivisione temporale delle serie di misure utilizzate — che interrompono sì l'andamento annuale, ma che tuttavia diminuirebbero il numero dei giorni per situazione meteorologica — vengono dapprima trasformate.

Per tutti i campi della circolazione vengono calcolati valori climatologici delle variabili delle stazioni temperatura, durata dell'insolazione e precipitazioni, come pure vengono stabilite relazioni lineari tra queste variabili da una parte e la topografia assoluta e relativa dall'altra. In base a tali relazioni, situazioni con correnti analoghe vengono raggruppate in situazioni meteorologiche.

Gli elementi meteorologici scelti come temperatura, durata dell'insolazione e precipitazioni presentano una dipendenza in relazione alla direzione della corrente. Inoltre esiste una relazione lineare tra la temperatura e la topografia relativa 1000/500 mb. Con ciò siamo in grado di prevedere le temperature delle stazioni con le variabili della statistica del tempo sulle Alpi, che a loro volta possono essere ricavate dalle carte di previsione.

Summary

A classification of analogous weather situations plays an important role in synoptic climatology.

With a given synoptic scale weather situation, local weather may differ widely, for example, in response to orography and altitude. This diversity is particularly well pronounced in the Alps.

It is the purpose of this paper to investigate small scale weather phenomena as related to synoptic scale circulation and pressure patterns. The material is taken from the period 1955 — 1968. The sea level pressure pattern and the 500mb-wind-field in the central part of the Alps (cf. fig. 6.1) are correlated with temperature, insolation and precipitation as observed at five typical locations in and around the Alps: Säntis, Zurich, Geneva, Davos and Lugano. The investigation is carried out separately for each station, thus yielding specific synoptic criteria. Through this method we gain an insight into regional peculiarities of synoptic weather sequences.

Meteorological elements show considerable annual variation. Instead of subdividing the observational material into groups corresponding to seasons — a procedure which would have unduly reduced the number of available cases — the raw data are transformed.

Climatological means of temperature, insolation and precipitation are computed for each class of pressure and circulation patterns. Linear regressions between these quantities and synoptic parameters (viz. 500mb-surface and 1000/500mb-thickness) are given. These regressions are used as criteria for delimiting classes of synoptic situations.

All local elements depend strongly upon large scale wind direction. Temperature is linearly related to 1000/500 mb-thickness. As these parameters are derived from forecast charts on a synoptic scale, it is possible to predict station temperatures using the above correlations.

I. Statistische Verfahren und automatische Datenverarbeitung

Nachfolgend sind die in dieser Arbeit zur Anwendung gelangenden statistischen Verfahren kurz erwähnt. Für ausführliche Beschreibungen sei auf die Fachliteratur verwiesen.

1. Lineare Regression

1.1. Einfache lineare Regression

Liegt eine Stichprobe von n Beobachtungen

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$$

aus einer zweidimensionalen Grundgesamtheit vor, können wir untersuchen – ohne dabei die eine Variable als abhängig und die andere als unabhängig anzusehen –, ob eine Beziehung zwischen den Variablen besteht; wir sprechen von der Korrelation zwischen x und y . Interessieren wir uns welcher Art diese Beziehung ist, sprechen wir von der Regression von y bezüglich x , wobei wir die Variable x als unabhängig und die Variable y als abhängig betrachten.

Schätzung der Parameter

Um die Regressionsgerade den Punkten (x_j, y_j) anzupassen, müssen wir eine objektive Methode heranziehen. Eine solche ist das GAUSS'sche Prinzip der kleinsten Quadrate. Für unser Problem besagt dieses Prinzip folgendes:

$$\sum (y_j - Y_j)^2 = \text{Minimum},$$

wobei $(y_j - Y_j)$ die Abweichung eines beobachteten Wertes y_j von dem entsprechenden Punkt Y_j auf der Regressionsgeraden darstellt.

Die Gleichung für die einfache lineare Regression lautet:

$$y = a + bx \tag{1.1a}$$

wo: Y = Regressionswert

a = Regressionskonstante; $a = \bar{y} - b\bar{x}$, wobei $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_j$ und $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_j$

b = Steigungsmass

x = unabhängige Variable

Wird $a = \bar{y} - b\bar{x}$ in Gleichung (1.1a) eingesetzt, so folgt:

$$Y = \bar{y} + b(x - \bar{x}) \tag{1.1b}$$

Das Steigungsmass b heisst Regressionskoeffizient und hat die Form:

$$b = \frac{s_{xy}}{s_x^2} \tag{1.2}$$

Hierbei ist

$$s_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum (x_j - \bar{x})(y_j - \bar{y}) \tag{1.3}$$

die Kovarianz der Stichprobe und

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_j - \bar{x})^2 \tag{1.4}$$

die Varianz der x -Werte der Stichprobe. Die positive Quadratwurzel der Varianz heisst Standardabweichung.

Prüfung des Regressionskoeffizienten

Die Methoden der Varianzanalyse kann man auch bei Regressionsproblemen anwenden.

Die Summe der Quadrate der Abweichungen der beobachteten Werte y_j von den Regressionswerten Y_j kann wie folgt zerlegt werden:

$$\sum (y_j - Y_j)^2 = \sum (y_j - \bar{y})^2 - \sum (Y_j - \bar{y})^2 \quad (1.5)$$

Das Durchschnittsquadrat der Abweichungen der beobachteten Werte y_j von den Regressionswerten Y_j

$$\frac{1}{f_2} \sum (y_j - Y_j)^2 \quad (1.6)$$

wo: $f_2 = \text{Freiheitsgrad} (= n - 2)$

ist eine Schätzung der Varianz der Grundgesamtheit. Hat der Regressionskoeffizient β dieser Grundgesamtheit den Wert Null und ist y für jedes feste x normalverteilt, so ist das Verhältnis der Durchschnittsquadrate

$$F = \frac{\frac{1}{f_1} \sum (Y_j - \bar{y})^2}{\frac{1}{f_2} \sum (y_j - Y_j)^2} \quad (1.7)$$

ein beobachteter Wert einer Zufallsvariablen, die eine F-Verteilung mit ($f_1 = 1$, $f_2 = n - 2$) Freiheitsgraden hat. Für $F > F_p$ muss die Nullhypothese ($\beta = 0$) abgelehnt werden, was bedeutet, dass der Regressionskoeffizient bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von p signifikant von Null verschieden ist.

Bezeichnen wir das Durchschnittsquadrat der Einzelwerte um die Regression mit s_*^2 ,

$$s_*^2 = \frac{1}{n - 2} \sum (y_j - Y_j)^2,$$

so lässt sich das Verhältnis der Durchschnittsquadrate schreiben als

$$F = \frac{b^2}{s_*^2} \cdot \sum (x_j - \bar{x})^2 \quad (1.8)$$

Für $f_1 = 1$ können wir F gleich t^2 setzen und somit den t-Test heranziehen. Die Formel lautet:

$$t = \frac{b}{s_*} \cdot \sqrt{\sum (x_j - \bar{x})^2} \quad (1.9)$$

Zu einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit p und der vorliegenden Zahl von Freiheitsgraden $f_2 = f = n - 2$ wird die Nullhypothese ($\beta = 0$) angenommen, wenn

$$\frac{|b|}{s_*} \cdot \sqrt{\sum (x_j - \bar{x})^2} \leq t(p, f) \quad (1.10)$$

ist.

1.2. Mehrfache lineare Regression

Schätzung der Parameter

Entsprechend dem Vorgehen im Falle der einfachen Regression fordern wir auch hier, dass die Summe der Quadrate der Abweichungen zwischen den beobachteten Werten y_j und den entsprechenden Regressionswerten Y_j ein Minimum sei.

Wird aus der Grundgesamtheit eine Stichprobe mit je n Werten der abhängigen Variablen y und der unabhängigen Variablen x_i ($i = 1, 2, \dots, q$) entnommen, kann die Regressionsgleichung der Stichprobe geschrieben werden als

$$Y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_q x_q \quad (1.11a)$$

Die Konstante a lässt sich wie folgt berechnen:

$$a = \bar{y} - b_1 \bar{x}_1 - b_2 \bar{x}_2 - \dots - b_q \bar{x}_q$$

Wird a in (1.11a) eingesetzt, so folgt:

$$Y = \bar{y} + b_1 (x_1 - \bar{x}_1) + b_2 (x_2 - \bar{x}_2) + \dots + b_q (x_q - \bar{x}_q) \quad (1.11b)$$

Für drei unabhängige Variable erhalten wir die Regressionskoeffizienten aus folgenden Gleichungen:

$$b_1 = c_{11} S(x_1 y) + c_{12} S(x_2 y) + c_{13} S(x_3 y)$$

$$b_2 = c_{21} S(x_1 y) + c_{22} S(x_2 y) + c_{23} S(x_3 y)$$

$$b_3 = c_{31} S(x_1 y) + c_{32} S(x_2 y) + c_{33} S(x_3 y)$$

wo $c_{ik} = c_{ki}$ die GAUSS'schen Multiplikatoren darstellen und

$$S(x_1 y) = \sum (x_{1j} - \bar{x}_1) \cdot (y_j - \bar{y})$$

gesetzt wird.

Prüfung der Regressionskoeffizienten

Wie bei der einfachen Regression kann auch hier die Nullhypothese ($\beta_i = 0$) mit Hilfe der t-Verteilung getestet werden.

Der t-Wert der Stichprobe lässt sich wie folgt berechnen:

$$t = \frac{b_i}{s_* \cdot \sqrt{c_{ii}}} \quad (1.12)$$

$$\text{wo: } s_* = \sqrt{\frac{\sum (y_j - Y_j)^2}{f}}$$

f = Freiheitsgrad ($= n - q - 1$)

q = Anzahl der unabhängigen Variablen

c_{ii} = GAUSS'sche Multiplikatoren

2. Lineare Korrelation

2.1. Einfache lineare Korrelation

Das Verhältnis der Varianz der Punkte der Regressionsgeraden zur Gesamtvarianz kann als Mass für die Abhängigkeit der beiden Beobachtungsreihen benutzt werden. Es trägt den Namen Bestimmtheitsmass und ist folgendermassen definiert:

$$B = \frac{\frac{1}{n-1} \sum (Y_j - \bar{Y})^2}{\frac{1}{n-1} \sum (y_j - \bar{Y})^2} \quad (2.1)$$

Durch Umformen erhalten wir:

$$B = \frac{s_{xy}^2}{s_x^2 \cdot s_y^2} \quad (2.2)$$

Der Korrelationskoeffizient steht in enger Beziehung zu B; er ist die Quadratwurzel aus dem Bestimmtheitsmass

$$r = \sqrt{B} = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y} \quad (2.3)$$

und variiert von -1 bis $+1$.

Die Stichprobenwerte $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ liegen dann und nur dann genau auf einer Geraden, wenn der zugehörige Korrelationskoeffizient r den Wert 1 oder -1 hat.

Prüfung des Korrelationskoeffizienten

Das Verhältnis der beiden Durchschnittsquadrate (1.7) kann gleich

$$F = \frac{(n-2) B}{1-B} \quad (2.4)$$

gesetzt werden; es folgt einer F-Verteilung mit $(f_1 = 1, f_2 = n - 2)$ Freiheitsgraden.

Der Korrelationskoeffizient r einer Stichprobe ist ein Schätzwert für den Korrelationskoeffizient ρ der zugehörigen Grundgesamtheit. Wird nun die Nullhypothese ($\rho = 0$) angenommen, besteht zwischen den beiden Variablen x und y bei einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit p keine lineare Abhängigkeit.

2.2. Mehrfache lineare Korrelation

Die Gleichung der mehrfachen Regression ist die Gesamtdarstellung der in der mehrdimensionalen Stichprobe zutage tretenden linearen Abhängigkeiten einer Messgrösse von allen übrigen in der Messstichprobe erfassten Grössen. Es liegt nahe, wiederum durch einen Korrelationskoeffizienten ein Mass dafür anzugeben, wie stark die Abhängigkeit dieser Messgrösse von der Gesamtheit aller erfassten Einflussgrössen ist.

Wir gehen zurück auf die Ausgangsformel für den einfachen linearen Korrelationskoeffizienten (2.1)

$$r^2 = \frac{\frac{1}{n-1} \sum (Y_j - \bar{Y})^2}{s_y^2}$$

und setzen für Y_j die Regressionswerte aus der mehrfachen Regressionsgleichung ein; wir erhalten den gewünschten Mehrfach-Korrelationskoeffizienten r .

Die Prüfung, ob ein Mehrfach-Korrelationskoeffizient signifikant von Null verschieden ist, kann mit dem F-Test vorgenommen werden, wobei der Freiheitsgrad f_1 gleich der Anzahl der unabhängigen Variablen (q) und der Freiheitsgrad f_2 gleich $(n - q - 1)$ zu nehmen ist.

3. Faktorenanalyse

Das Hauptziel der Faktorenanalyse ist die Ableitung hypothetischer Grössen oder Faktoren aus einer Menge beobachteter Variablen. Eine Vielzahl von Variablen soll auf eine kleine Zahl von Faktoren reduziert werden.

Grundgleichungen

Die Matrix $X = (x_{ij})$ bezeichne die Ausgangsdaten, wobei $i = 1, 2, \dots, m$ die Variablen und $j = 1, 2, \dots, n$ die Beobachtungstage sein sollen.

Die Ausgangsdaten werden standardisiert, d.h. man führt die folgende Transformation durch:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{s_i} \quad (3.1)$$

Standardisierte Variablen haben den Vorteil, dass ihr Mittelwert gleich Null und die Varianz gleich Eins wird.

Für die Korrelationsmatrix R der Ausgangsdaten gilt somit:

$$R = \frac{1}{n-1} Z Z', \quad (3.2)$$

wobei Z' die transponierte Matrix von Z darstellt.

Die Korrelationsmatrix ist der Ausgangspunkt der Faktorenanalyse. Das Grundmodell der Faktorenanalyse wird durch die folgende Gleichung formuliert:

$$Z = A P, \quad (3.3)$$

wobei Z die $m \times n$ Matrix der variablenweise standardisierten Ausgangsdaten, A die $m \times r$ Matrix der Faktorenladungen und P die $r \times n$ Matrix der Faktorenwerte darstellt.

Jeder Faktor ist gekennzeichnet durch eine Spalte, jede Variable durch eine Zeile von A . Die Faktorenladungen, z.B. a_{i1} , geben die Korrelation zwischen dem ersten Faktor und den Variablen an. Die Faktorenwerte sind die transformierten Ausgangsdaten, d.h. die Werte, die den einzelnen Beobachtungstagen in der neuen Dimension zukommen.

Setzt man (3.3) in (3.2) ein, ergibt sich

$$R = \frac{1}{n-1} Z Z' = \frac{1}{n-1} A P (A P)' = \frac{1}{n-1} A P P' A' = A \frac{1}{n-1} P P' A',$$

also $R = A C A'$, wobei der Ausdruck

$$\frac{1}{n-1} P P' = C \quad (3.4)$$

die Korrelationsmatrix zwischen den Faktoren darstellt.

Fordert man, dass die Faktoren unkorreliert sein sollen, d.h. $C = \text{Einheitsmatrix } (I)$, dann ergibt sich

$$R = A A' \quad (3.5)$$

Berechnung der Faktorenladungen

Postuliert man weiter, dass auch die Faktoren standardisiert sein sollen, so gilt

$$s_i^2 = a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{ir}^2 = 1 \quad (3.6)$$

wo: r = Anzahl Faktoren ($r \leq m$)

d.h. die Einheitsvarianz s_i^2 ist gleich der Quadrate aller Faktorenladungen einer Variablen.

Das Gleichungssystem (3.5) wird eindeutig lösbar, wenn man verlangt, dass die Summe der Quadrate der Faktorenladungen des ersten Faktors ein Maximum der Gesamtvarianz erreichen soll, die des zweiten Faktors ein Maximum der Restvarianz usw., d.h.

$$(\lambda_1) = \sum_{i=1}^m a_{i1}^2 = \text{Maximum.} \quad (3.7)$$

Für diese Maximierung wird die Technik der Lagrange-Multiplikatoren herangezogen. Ihre Anwendung ergibt, ausgehend von Gleichung (3.7), ein System von m homogenen Gleichungen mit den m Unbekannten a_{i1} . Es kann allgemein in folgender Form geschrieben werden:

$$R \alpha_i = \lambda_i \alpha_i \quad \text{oder} \quad (R - \lambda_i I) \alpha_i = 0 \quad (3.8)$$

Die λ_i nennt man Eigenwerte, die zugehörigen α_i Eigenvektoren von R .

Setzt man λ_1 in (3.8) ein, so erhält man einen Lösungsvektor $(\alpha_{11}, \alpha_{21}, \dots, \alpha_{m1})$ für den ein Maximum ist.

$$\sum_{i=1}^m \alpha_{i1}^2$$

Die Faktoren sind den Eigenvektoren von R proportional. Durch die Normierung

$$a_{il} = \alpha_{il} \cdot \frac{\sqrt{\lambda_l}}{\sqrt{\alpha_{1l}^2 + \alpha_{2l}^2 + \dots + \alpha_{ml}^2}} \quad (3.9)$$

erhält man die gesuchten Werte von a_{il} der Matrix A aus den Werten der Eigenvektoren von R .

Die Faktorenladungen a_{il} entsprechen den Korrelationskoeffizienten der Variablen i mit dem Faktor F_l , wobei $i = 1, 2, \dots, m$ und $l = 1, 2, \dots, r$.

Rotation der Faktorenladungen

Die im obigen Abschnitt berechneten Faktorenladungen sind die Resultate der sog. Hauptachsenmethode. Sie sind jedoch nicht die beste Lösung in bezug auf die Interpretierbarkeit der einzelnen Faktoren.

Beim Rotationsproblem handelt es sich darum, von den vielen möglichen Koordinatensystemen innerhalb des gemeinsamen Faktorenraumes eines so auszuwählen, dass eine einfache Faktorenstruktur mit ausschliesslich hohen und tiefen Faktorenladungen vorliegt, die eine gute Erklärung der Faktorenbedeutung ermöglicht.

Diese Vereinfachung der Faktorenstruktur kann mit dem sog. Varimax-Kriterium erreicht werden. Das Varimax-Kriterium verlangt, dass die Varianz der quadrierten Faktorenladungen a_{il} in jeder Spalte der Matrix A ein Maximum sein soll.

Berechnung der Faktorenwerte

Für die berechnete Matrix A gilt

$$A' A = M, \quad (3.10)$$

d.h. die Quadrate der Faktorenladungen summieren sich in jeder Spalte von A zu dem zugehörigen Eigenwert. Die diagonale Matrix M enthält die Eigenwerte in der Reihenfolge ihrer Grösse.

Aus der Grundgleichung (3.3) ergibt sich durch Prämultiplikation mit A' und anschliessender Prämultiplikation mit $(A' A)^{-1}$

$$P = (A' A)^{-1} A' Z \quad (3.11)$$

Durch Einsetzen von (3.10) in (3.11) ergibt sich

$$P = M^{-1} A' Z \quad (3.12)$$

Die Matrix $B = M^{-1} A'$ enthält die Faktorenkoeffizienten, die zur Berechnung der Faktorenwerte benötigt werden.

Ist die Matrix A durch Rotation in eine andere orthogonale Matrix A^* transformiert worden,

$$A^* = A T, \quad (3.13)$$

wobei T die Transformationsmatrix darstellt, ergibt sich für die Bestimmung der Faktorenwerte im neuen Koordinatensystem

$$P^* = T' M^{-1} A' Z, \quad (3.14)$$

d.h. die Formel (3.12) ist mit der transponierten Transformationsmatrix zu prämultiplizieren.

4. Automatische Datenverarbeitung

Für die umfangreichen Rechenarbeiten stand mir am Rechenzentrum der Universität Zürich das Computersystem IBM 360/40, später IBM 360/50 zur Verfügung.

Die FORTRAN-Grundprogramme für Korrelations-, Regressions- und Faktorenanalyse konnten vom Geographischen Institut übernommen werden. Das ALGOL-Programm für die Fourieranalyse verdanke ich Herrn PD Dr. Th. Ginsburg.

Mein Dank gebührt Herrn M. Harder vom Rechenzentrum der ETHZ, der die Zusammenstellung der klimatologischen Daten der Periode 1955 – 1964 besorgte sowie die Prozedur der Fourieranalyse auf der CDC-Anlage der ETHZ überwachte.

Das verwendete Datenmaterial der Alpenwetterstatistik wurde am Eidgenössischen Rechenzentrum in Bern bereitgestellt, wodurch mir weitere umfangreiche Locharbeiten erspart blieben.

II. Arbeitsgrundlagen

5. Problemstellung

Die praktische Meteorologie hat im vergangenen Jahrzehnt einen bedeutenden Wandel erfahren. Mit Hilfe der Strömungsgleichungen lässt sich 24 bis 72 Stunden im voraus ein grossräumiges Druck- und Strömungsfeld numerisch berechnen. Die Bearbeitung numerischer Prognosenkarten für grossräumige Gebiete gehört zum Aufgabenbereich eines internationalen Dienstes.

Dank dieser Prognosenkarten ist der Meteorologe heute in der Lage, grossräumige Wetterelemente zu prognostizieren. Auf diesen Ausgangsvariablen, die nur eine allgemeine Aussagekraft besitzen, darf er es jedoch nicht beruhen lassen. Dieses Druck- und Strömungsfeld soll weiter verfeinert werden. Es muss eine Detailanalyse folgen.

Ich bin der Auffassung, dass in einem orographisch so komplexen Gebilde, wie es unser Alpenraum verkörpert, die Ausgangsvariablen zielgerichtet, d.h. auf bestimmte Wetterelemente ausgewählter Stationen angewendet werden müssen.

Das Ziel meiner Untersuchungen besteht darin, statistisch erfassbare lineare Zusammenhänge zwischen den grossräumigen meteorologischen Elementen einerseits und den kleinräumigen Wetterelementen andererseits zu erkennen. Insbesondere sollen Strömungsfelder untersucht und gegenseitig abgegrenzt werden.

Gelingt es, eine Verbindung zwischen den Ausgangsvariablen und den Stationsvariablen aufzuzeigen, können wir die Ausgangsvariablen, die mit Hilfe dynamischer Modelle z.T. heute schon recht gut prognostiziert werden, auf bestimmte Stationsvariablen übertragen.

6. Das Untersuchungsgebiet und das verwendete Datenmaterial

Unter Wetterlage verstehen wir den Wetterzustand in bezug auf die wichtigen meteorologischen Elemente (wie z.B. Boden- und Höhenströmung, Temperatur, Sonnenschein und Niederschlag) über einem begrenzten Gebiet während eines kurzen, höchstens eintägigen Zeitintervalles.

6.1. Das Untersuchungsgebiet

BAUR (1) geht in seinen Grosswetterlagen vom kontinentalen Massstab aus. Für den schwierig zu erfassenden Alpenraum hat SCHÜEPP (12) eine Aufteilung in einen westlichen, einen zentralen und einen östlichen Alpenraum vorgeschlagen. Als Gebietsgrösse wählte er einen Kreis mit einem Radius von zwei Breitengraden, also 222 km. Der Gebietsmittelpunkt unserer Region, des zentralen Alpenraumes, wird Zentralpunkt genannt und liegt im Rheinwaldgebiet.

6.2. Die Alpenwetterstatistikvariablen

Meine Arbeit basiert auf den Variablen der Alpenwetterstatistik der Periode 1955 – 1968 (ohne Schalttage; 29. Februar), wie sie täglich an der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich zusammengestellt werden und z.T. im Kalender der Wetter- und Witterungslagen von SCHÜEPP (12) zu finden sind. Die Alpenwetterstatistikvariablen beziehen sich auf den Mittagstermin (12 h Weltzeit).

Nachfolgend seien die ausgewählten Variablen kurz erläutert:

Bodenströmung D

Zur Ermittlung der Bodenströmung D dient der auf Meeresniveau reduzierte Luftdruck. Mit Hilfe der Isobarenrichtung und des Isobarenabstandes lässt sich ein Windvektor bestimmen, wobei wir uns mit einer Näherung begnügen, indem wir die geostrophische Windrichtung einsetzen.

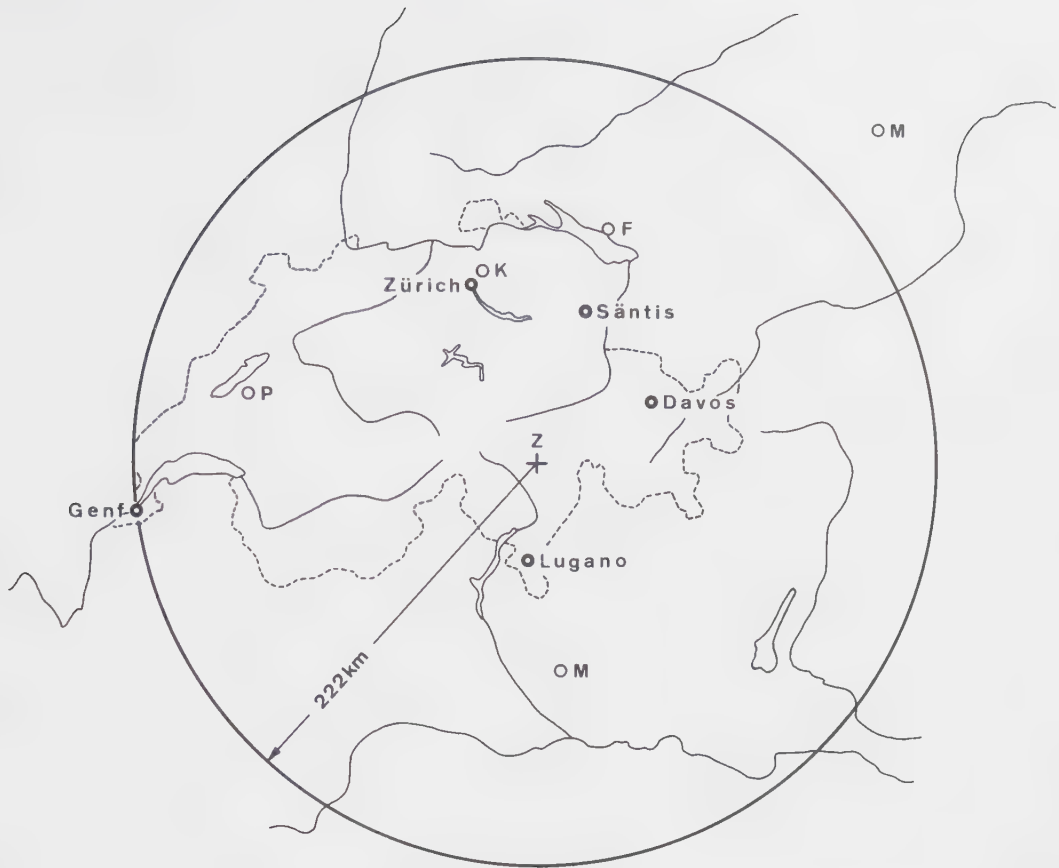


Abb. 6.1 Abgrenzung des zentralen Alpenraumes. Koordinaten des Gebietsmittelpunktes Z: 46.5°N / 9.0°E.
Beobachtungsnetz für die Alpenwetterstatistik:

F = Friedrichshafen
K = Kloten-Flughafen

M = Alpennordseite: München
Alpensüdseite: Mailand
P = Payerne

In der Folge sprechen wir einfach von der Bodenströmung, obwohl wir uns bewusst sind, dass im Alpengebiet orographisch bedingte Ablenkungen auftreten. Die tatsächliche Strömungsrichtung wird mit der geostrophischen Windrichtung nicht übereinstimmen, sondern starke regionale Unterschiede aufweisen.

Anströmkriterien:

- Keine Strömung, Schwachwindlage; $\Delta p < 5$ mb.
Die Druckdifferenz bezüglich der Kreisfläche (Abb. 6.1) ist kleiner als 5 mb.
- Einheitliche Strömung, Strömungslage; $\Delta p \geq 5$ mb.
Die Druckdifferenz bezüglich der Kreisfläche ist grösser gleich 5 mb.
- Uneinheitliche Strömung, Wirbellage; $\Delta p > 5$ mb.
Die Druckdifferenz rund um die Kreisfläche ist grösser als 5 mb.

Es werden folgende Wirbellagen unterschieden:

- a) Zyklonaler Wirbel ($D = -9$)
- b) Sattel ($D = 9$)
- c) Antizyklonaler Wirbel ($D = +9$)

Schwachwindlagen und Wirbellagen werden auch als Kernlagen bezeichnet.

Windskala:

Das Datenmaterial basiert auf einer 20-teiligen Skala. Je feiner die Windskala eingeteilt wird, desto kleiner wird die Zahl der Beobachtungen pro Windgruppe. Demzufolge wurde der vorliegenden Untersuchung eine 12-teilige Windskala (30°-Sektoren) zugrunde gelegt.

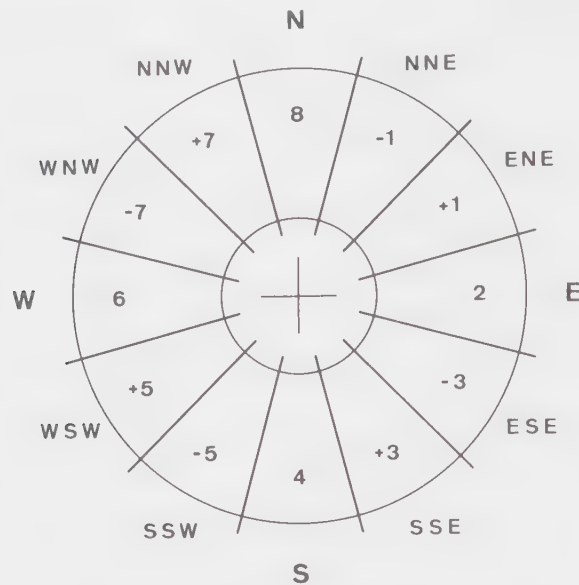


Abb. 6.2 Die Windrose

Höhenströmung d

Bei der Höhenströmung d, welche oberhalb des Gebirgskammes liegt, sind die Abweichungen vom geostrophischen Wind geringer als bei der Bodenströmung. Hier werden die Windmessungen vom 500-mb-Niveau (ca. 5500 m/M) der Stationen Payerne, München und Mailand herangezogen (Abb. 6.1). Von 1955 bis März 1957 wurden die Höhenwindmessungen um 15 Z (15 h Weltzeit) statt um 12 Z durchgeführt, doch verursacht diese Zeitverschiebung keine wesentliche Inhomogenität der Messreihe.

Einteilungskriterien:

Aus den drei Windmessungen wird eine mittlere Windrichtung d bzw. Windstärke f bestimmt und hierauf eine Windrichtungsdifferenz Δd abgeleitet.

- Keine Strömung, Schwachwindlage; $f \leq 15$ kn.
Die Windstärke ist kleiner gleich 15 kn.
- Einheitliche Strömung, Strömungslage; $f > 15$ kn, $\Delta d \leq 90^\circ$.
Die Windstärke ist grösser als 15 kn und die Windrichtungsdifferenz ist kleiner gleich 90° .
- Uneinheitliche Strömung, Wirbellage; $f > 15$ kn, $\Delta d > 90^\circ$.
Die Windstärke ist grösser als 15 kn und die Windrichtungsdifferenz ist grösser als 90° .

Es werden folgende Wirbellagen unterschieden:

- a) Zyklonaler Wirbel ($d = -9$)
- b) Sattel ($d = 9$)
- c) Antizyklonaler Wirbel ($d = +9$)

Windskala:

Siehe Bodenströmung (Abb. 6.2).

Absolute Topographie 1000 mb HH

Diese absolute Topographie, die Höhenlage der 1000-mb-Fläche in geopotentiellen Metern, ist ein Mass für das Druckniveau in Bodennähe. Die für die Umwandlung von Millibar in geopot. Meter benötigten Werte (Temperatur und Luftdruck) werden der Bodendruckkarte entnommen.

Wir unterscheiden:

- Abs. Topographie 1000 mb HHn: Alpennordseite.
Mittel der Stationen Kloten und Friedrichshafen.
- Abs. Topographie 1000 mb HHs: Alpensüdseite.
Station Mailand.

Relative Topographie 1000/500 mb r

Die relative Topographie 1000/500 mb, der Höhenunterschied zwischen der 1000-mb und der 500-mb-Fläche in geopot. Metern, stellt ein Mass für die Mitteltemperatur der Luftschicht zwischen dem Meeresniveau und 5500 m/M dar.

Wir unterscheiden:

- Rel. Topographie 1000/500 mb rn: Alpennordseite.
Mittel der Stationen Payerne und München.
- Rel. Topographie 1000/500 mb rs: Alpensüdseite.
Station Mailand.

Absolute Topographie 500 mb hh

Diese absolute Topographie setzt sich zusammen aus dem Mittel der abs. Topographie 1000 mb (HHn und HHs) einerseits und dem Mittel der rel. Topographie 1000/500 mb (rn und rs) andererseits. Wir erhalten somit die Höhenlage der 500-mb-Fläche in geopot. Metern über dem Zentralpunkt.

Höhendifferenz der 1000-mb-Fläche zwischen Alpennord- und Alpensüdseite ggg

Die Höhendifferenz der 1000-mb-Flächen ist ein Mass für den Luftdruckunterschied zwischen der Alpennord- und der Alpensüdseite und somit ein Hilfsmittel für die Beurteilung der Stau- und Föhneffekte.

Es sei nochmals daran erinnert, dass es sich bei diesen Variablenwerten um Terminwerte handelt. Diese 12-Z-Werte sollen nun als Tageswerte angesprochen werden; für jede Variable haben wir pro Tag einen Messwert.

6.3. Die Stationsvariablen

Wie bereits erwähnt, sollen die Alpenwetterstatistikvariablen mit bestimmten Wetterelementen ausgewählter Stationen in Beziehung gebracht werden.

Als Stationsvariable habe ich die meteorologischen Elemente Temperatur, Sonnenschein und Niederschlag der Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano der Periode 1955 – 1968 zusammengestellt.

Temperatur T

Es ist die im Schatten, ca. 2 m über dem Erdboden mit einem Stationsthermometer (Quecksilberthermometer) gemessene Luft-Temperatur in Grad Celsius.

Aus den drei Terminmessungen 07.30 h, 13.30 h und 21.30 h wird das Dreiermittel (= Tagesmittel) bestimmt. Nur diese mittlere Tagestemperatur geht in die Untersuchung ein.

Sonnenscheindauer S

Die Messung der Sonnenscheindauer geschieht mit einem Sonnenschein-Autographen nach CAMPBELL-STOKES. Die Sonnenstrahlung wird mit Hilfe einer Kugellinse auf einem Registrierstreifen vereinigt, auf dem eine der Sonnenscheindauer entsprechende Brennsur entsteht. Die tatsächliche Sonnenscheindauer wird in Stunden angegeben.

Niederschlag R

Zur Messung der Niederschlagsmenge dient der Regenmesser nach HELLMANN. Die Auffangfläche des Regenmessers beträgt 200 cm^2 (Säntis 500 cm^2) und befindet sich im allgemeinen in ca. 1.5 m Höhe über dem Erdboden. Die Angabe des gefallen Niederschlages erfolgt in Millimeter Wassersäule, wobei feste Niederschläge erst geschmolzen werden müssen. Die Niederschlagsmengen, täglich um 07.30 h gemessen, werden dem Vortage zugeschrieben.

Messstationen (Abb. 6.1):

- Säntis**, Voralpengipfel, 2500 m/M
Sonnenschein-Autograph:
Fabrikat Negretti & Zambra (neues Modell), ab 1961: Fabrikat Fuess.
- Zürich**, Alpennordseite, 569 m/M
Sonnenschein-Autograph:
Fabrikat Negretti & Zambra (neues Modell).
- Genf**, Alpennordseite
Sonnenschein-Autograph:
Fabrikat Negretti & Zambra, ab 1967: Fabrikat Negretti & Zambra (neues Modell).

Die Messreihen von Genf setzen sich zusammen aus den Messwerten der Stationen Genf-Observatorium und Genf-Flughafen.

Für Genf-Observatorium liegt das klimatologische Mittel der Lufttemperatur ein Grad über demjenigen von Genf-Flughafen. Eine Angleichung der beiden Messreihen konnte also dadurch bewerkstelligt werden, indem die Tagesmittel der Station Genf-Observatorium um diesen Wert reduziert wurden.

Die restlichen beiden Variablen Sonnenscheindauer und Niederschlag haben keine Reduktion erfahren.

Genf-Observatorium, 405 m/M
Temperatur und Niederschlag bis Februar 1962.
Sonnenscheindauer bis 1966.

Genf-Flughafen, 430 m/M
Temperatur und Niederschlag ab März 1962.
Sonnenscheindauer ab 1967.

Davos-Platz, Alpine Station, 1588 m/M
Sonnenschein-Autograph:
Fabrikat Negretti & Zambra, ab 1956: Fabrikat Fuess.

Lugano, Alpensüdseite, 276 m/M
Sonnenschein-Autograph:
Fabrikat Negretti & Zambra.

III. Jahrgang und Modifikation der Variablen

7. Jahreszeitliche Verteilung der Strömungsverhältnisse

Die Klassifikation der Strömungs- bzw. der Kernlagen, wie sie sich aufgrund der im Abschnitt 6.2 aufgeführten Strömungskriterien ergeben, wurde übernommen.

Für die Periode 1955 – 1968 haben sich die Strömungsverhältnisse wie folgt auf die verschiedenen Windgruppen verteilt (die Prozentwerte beziehen sich auf das Untersuchungstotal von 5110 Tagen):

	Anzahl Tage pro Windgruppe	
	n	%
1. Strömungslagen (advektive Lagen):		
a) Bodenströmung	276	5.4
b) Höhenströmung	1769	34.6
c) Boden- und Höhenströmung	2309	45.2
2. Kernlagen (konvektive Lagen):		
a) Wirbellagen	196	3.8
b) Schwachwindlagen	560	11.0

Bei jeder statistischen Untersuchung stellt sich die Frage nach der Gruppengrösse. Bezüglich dieser Fragestellung wäre eine monatliche Aufgliederung des Datenmaterials nicht sinnvoll gewesen, denn die Zahl der Tage einzelner Windgruppen wäre zu klein geworden. Wie der Abschnitt 9 zeigen wird, konnte auch auf eine jahreszeitliche Aufspaltung der Messreihen verzichtet werden.

Da bei einer klimatologischen Untersuchung der Jahresverlauf einzelner Variablen einen wichtigen Platz einnimmt, möchte ich die jahreszeitliche Verteilung für die Hauptwindgruppen aufzeigen. Die Zuordnung der Monate zu den verschiedenen Jahreszeiten ist dabei die folgende:

Frühling:	März, April, Mai
Sommer:	Juni, Juli, August
Herbst:	September, Oktober, November
Winter:	Dezember, Januar, Februar

Bodenstromlagen

Am Boden herrscht eine kräftige, einheitliche Strömung, wogegen die Höhenströmung nur schwach ausgebildet ist.

Tab. 7.1 Bodenstromlagen der Periode 1955 – 1968:
Häufigkeit der Strömungsrichtungen (D) und deren jahreszeitliche Gliederung
(die Prozentwerte beziehen sich auf das Total von 276 Tagen).

Strömungsrichtung D	Anzahl Tage pro Strömungsrichtung		Frühling n	Sommer n	Herbst n	Winter n
	n	%				
6	4	1.5	1	2	1	0
–7	3	1.1	0	2	0	1
+7	6	2.2	2	2	2	0
8	9	3.3	4	3	1	1
–1	33	12.0	12	15	5	1
+1	57	20.6	17	17	12	11
2	79	28.6	23	10	19	27
–3	29	10.5	5	0	12	12
+3	12	4.3	4	0	4	4
4	12	4.3	7	0	3	2
–5	16	5.8	5	2	6	3
+5	16	5.8	5	4	4	3

Höhenstromlagen

In der Höhe herrscht eine kräftige, einheitliche Strömung, wogegen die Bodenströmung nur schwach ausgebildet ist.

Tab. 7.2 Höhenstromlagen der Periode 1955 – 1968:
Häufigkeit der Strömungsrichtungen (d) und deren jahreszeitliche Gliederung
(die Prozentwerte beziehen sich auf das Total von 1769 Tagen).

Strömungsrichtung d	Anzahl Tage pro Strömungsrichtung		Frühling n	Sommer n	Herbst n	Winter n
	n	%				
6	355	20.0	63	163	68	61
–7	306	17.3	76	88	73	69
+7	155	8.8	34	47	35	39
8	63	3.6	19	15	13	16
–1	57	3.2	22	10	13	12
+1	65	3.7	18	9	20	18
2	32	1.8	5	6	7	14
–3	39	2.2	16	7	12	4
+3	42	2.4	10	6	18	8
4	66	3.7	16	9	24	17
–5	180	10.2	53	54	53	20
+5	409	23.1	82	178	94	55

Strömungslagen mit Boden- und Höhenströmung

Am Boden sowie in der Höhe herrscht eine kräftige, einheitliche Strömung.

Tab. 7.3 Strömungslagen mit Boden- und Höhenströmung der Periode 1955 – 1968:
Häufigkeit der Strömungslagen bezüglich der Bodenströmungsrichtung (D) und deren jahreszeitliche
Gliederung (die Prozentwerte beziehen sich auf das Total von 2309 Tagen).

Boden- strömungsrichtung D	Anzahl Tage pro Strömungsrichtung		Frühling n	Sommer n	Herbst n	Winter n
	n	%				
6	194	8.4	36	29	40	89
–7	170	7.4	39	36	34	61
+7	97	4.2	24	16	17	40
8	47	2.0	20	11	4	12
–1	266	11.5	81	94	39	52
+1	454	19.7	127	108	95	124
2	329	14.2	87	64	81	97
–3	89	3.9	26	1	19	43
+3	57	2.5	11	1	19	26
4	91	3.9	33	4	29	25
–5	218	9.4	61	19	73	65
+5	297	12.9	70	38	80	109

Wirbellagen

Am Boden oder in der Höhe herrscht eine kräftige, uneinheitliche Strömung.

Tab. 7.4 Wirbellagen der Periode 1955 – 1968:
Häufigkeit der Bodenwirbellagen (D) bzw. der Höhenwirbellagen (d) und deren jahreszeitliche Gliederung (die Prozentwerte beziehen sich auf das Total von 196 Tagen).

Wirbellage		Anzahl Tage pro Wirbellage		Frühling	Sommer	Herbst	Winter
D	d	n	%	n	n	n	n
–9		29	14.8	9	10	8	2
9		17	8.7	6	2	4	5
+9		9	4.6	1	0	1	7
	–9	85	43.4	20	18	19	28
	9	33	16.8	14	2	8	9
	+9	23	11.7	4	7	4	8

Bemerkung: Die Wirbellagen mit Boden- und Höhenwirbel (total 3 Fälle) sind den Bodenwirbellagen zugeteilt worden.

Schwachwindlagen

Am Boden und in der Höhe ist die Strömung nur schwach ausgebildet.

Tab. 7.5 Jahreszeitliche Gliederung der Schwachwindlagen der Periode 1955 – 1968
(die Prozentzahlen beziehen sich auf das Total von 560 Tagen).

	Anzahl Tage pro Jahreszeit	
	n	%
Frühling	120	21.4
Sommer	179	32.0
Herbst	201	35.9
Winter	60	10.7

8. Klimatologischer Jahresverlauf ausgewählter Variablen

Bestimmung der Pentadenmittel

Da die Einzelwerte im allgemeinen recht erheblichen Schwankungen unterworfen sind und die Fülle der Einzelmessungen eine übersichtliche Darstellung verunmöglichen würde, scheint mir die Betrachtung von Mittelwerten erforderlich, wobei ich eine Zeitspanne von fünf Tagen gewählt habe. Der für diesen Zeitraum gebildete Mittelwert wird als Pentadenmittel bezeichnet.

Die einzelnen Jahre werden, beginnend mit dem 1. Januar, aufgeteilt in 73 Pentaden. Hierauf werden die Messwerte gleicher Pentaden aufsummiert und durch die Zahl der Tage dividiert. Das Pentadenmittel (y_1) der 1. Pentade (1. Jan. – 5. Jan.) der 14 Jahre lässt sich also wie folgt berechnen:

$$y_1 = \frac{1}{70} \cdot \sum_{i=1}^{14} \sum_{k=1}^5 y_{ik}$$

Glättung der Pentadenmittel durch Fourieranalyse

Trägt man die berechneten Pentadenmittel graphisch über eine Zeitskala auf, erhält man wegen der geringen Stichprobengröße (14 Jahre) keinen glatten Verlauf. Als Glättungsmethode kann die Fourieranalyse herangezogen werden.

Eine gegebene periodische Funktion $f(x)$ der Periode 2π kann angenähert dargestellt werden als Summe einfacher trigonometrischer Funktionen:

$$F(x) = a_0 + \sum_{n=1}^q (a_n \cdot \cos nx + b_n \cdot \sin nx) \quad (8.1)$$

Eine recht gute Annäherung zwischen der gegebenen Funktion $f(x)$ und der trigonometrischen Summe $F(x)$ resultiert nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate:

$$\int_0^{2\pi} [F(x) - f(x)]^2 dx = \text{Minimum.} \quad (8.2)$$

Aufgrund der sog. Orthogonalitätsbeziehungen der trigonometrischen Funktionen sind die Fourier-Koeffizienten ($a_0; a_1, a_2, \dots, a_q; b_1, b_2, \dots, b_q$) der periodischen Funktion $f(x)$ unabhängig von der Anzahl q der mitgeführten Harmonischen.

In unserem Fall sind von der Funktion $f(x)$ im Intervall $0 \dots 2\pi$ nur die N Funktionswerte (Pentadenmittel) $y_j = f(x_j)$ an den N Stützstellen gegeben.

Der trigonometrische Summenausdruck lautet somit:

$$F_j = a_0 + \sum_{n=1}^q (a_n \cdot \cos nx_j + b_n \cdot \sin nx_j) \quad (8.3)$$

$$\text{wo: } x_j = j \cdot \frac{2\pi}{N} \quad (j = 1, 2, \dots, N)$$

Eine brauchbare Näherung erhält man wieder durch die Forderung kleinster Fehlerquadratsummen:

$$\sum_{j=1}^N (F_j - y_j)^2 = \text{Minimum.} \quad (8.4)$$

Die Anzahl q der in die Glättung miteinbezogenen Harmonischen hängt weitgehend von der Art ab, mit welcher die Amplituden

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (8.5)$$

der n -ten Harmonischen mit wachsendem n abfallen.

8.1. Jahresverlauf der absoluten und der relativen Topographien

Die absoluten Topographien 1000 mb und 500 mb sowie die relativen Topographien 1000/500 mb weisen einen deutlichen Jahresgang auf, wogegen die Höhendifferenz der 1000-mb-Flächen (ggg) eher zufälligen Schwankungen unterworfen zu sein scheint.

Graphisch dargestellt und tabelliert werden die geglätteten Pentadenmittel. Bei der Festlegung der Anzahl q der Harmonischen hat es sich gezeigt, dass für die rel. Topographien 1000/500 mb und die abs. Topographie 500 mb $q = 2$ genügt, während für die abs. Topographien 1000 mb besser $q = 3$ gewählt wird.

Tab. 8.1 Fourier-Koeffizienten (a_n, b_n) und Amplitudenwerte (c_n) der absoluten und der relativen Topographien (Periode 1955 – 1968).

	Absolute Topographie 1000 mb			Relative Topographie 1000/500 mb	
	HHn	HHs	500 mb hh	rn	rs
a_0	138.5	131.9	5617.3	5472.6	5492.5
a_1	3.5	4.9	–130.4	–133.2	–136.3
a_2	2.8	– 1.1	1.8	– 1.6	3.7
a_3	– 0.2	– 0.3			
b_1	– 5.1	– 6.9	– 65.5	– 60.1	– 58.9
b_2	4.6	3.6	12.5	7.3	9.7
b_3	9.6	10.9			
c_1	6.2	8.5	145.9	146.1	148.5
c_2	5.4	3.8	12.6	7.4	10.4
c_3	9.6	10.9			

ABSOLUTE TOPOGRAPHIE 1000mb

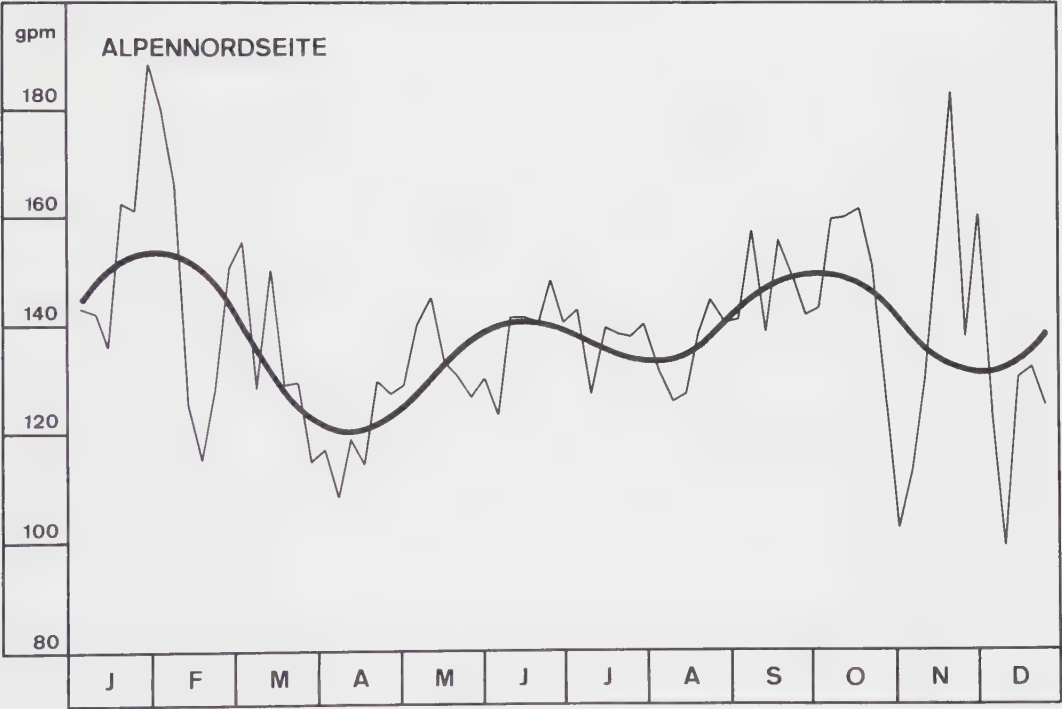


Abb. 8.1 Klimatologischer Jahresverlauf der absoluten Topographie 1000 mb für die Alpennordseite (HHn) während der Periode 1955 – 1968. Die ungeglätteten Pentadenmittel werden durch den feinen Linienzug dargestellt.

ABSOLUTE TOPOGRAPHIE 500mb

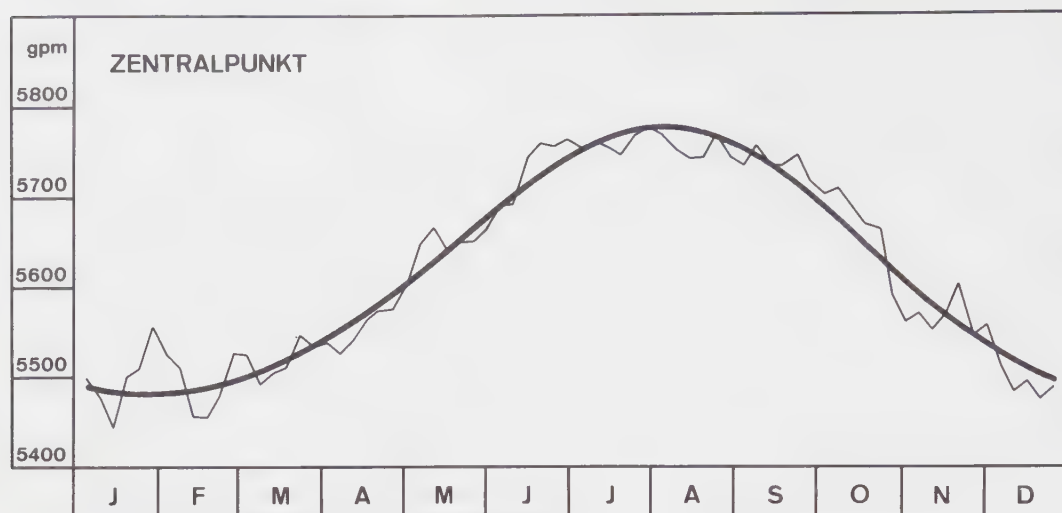


Abb. 8.2 Klimatologischer Jahresverlauf der absoluten Topographie 500 mb für den Zentralpunkt (hh) während der Periode 1955 – 1968. Die ungeglätteten Pentadenmittel werden durch den feinen Linienzug dargestellt.

RELATIVE TOPOGRAPHIE 1000/500mb

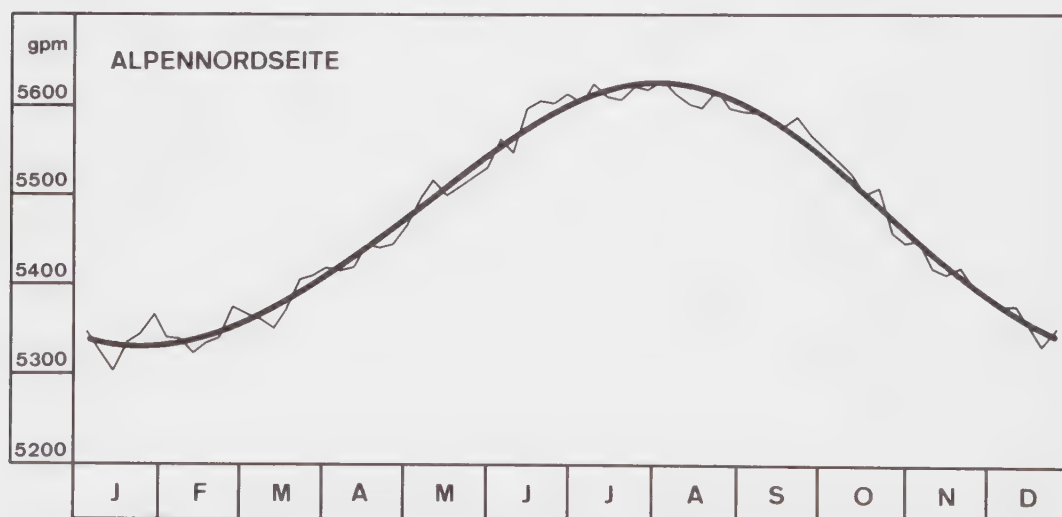


Abb. 8.3 Klimatologischer Jahresverlauf der relativen Topographie 1000/500 mb für die Alpennordseite (rn) während der Periode 1955 – 1968. Die ungeglätteten Pentadenmittel werden durch den feinen Linienzug dargestellt.

Tab. 8.2 Geglättete Pentadenmittel der absoluten und der relativen Topographien in geopotentiellen Metern (Periode 1955 – 1968).

Pentade	Datum	Absolute Topographie			Relative Topographie	
		1000 mb	500 mb	hh	1000/500 mb	
		HHn	HHs	hh	rn	rs
1	1. – 5.1.	144.7	135.4	5489	5338	5360
2	6. – 10.1.	147.4	138.2	5486	5334	5357
3	11. – 15.1.	149.9	140.8	5484	5332	5355
4	16. – 20.1.	151.9	143.1	5482	5331	5354
5	21. – 25.1.	153.3	144.8	5482	5330	5353
6	26. – 30.1.	154.1	145.9	5482	5331	5354
7	31.1. – 4.2.	154.1	146.2	5483	5332	5355
8	5. – 9.2.	153.4	145.8	5485	5335	5357
9	10. – 14.2.	151.8	144.5	5487	5338	5360
10	15. – 19.2.	149.6	142.6	5490	5342	5363
11	20. – 24.2.	146.8	140.0	5494	5347	5367
12	25.2. – 1.3.	143.5	136.9	5498	5353	5372
13	2. – 6.3.	139.9	133.4	5503	5359	5378
14	7. – 11.3.	136.1	129.8	5509	5366	5384
15	12. – 16.3.	132.5	126.3	5515	5373	5391
16	17. – 21.3.	129.0	122.9	5522	5382	5399
17	22. – 26.3.	126.0	120.0	5529	5390	5407
18	27. – 31.3.	123.5	117.5	5537	5400	5416
19	1. – 5.4.	121.6	115.7	5546	5409	5425
20	6. – 10.4.	120.5	114.6	5555	5419	5435
21	11. – 15.4.	120.1	114.2	5564	5430	5445
22	16. – 20.4.	120.5	114.6	5574	5440	5456
23	21. – 25.4.	121.5	115.6	5584	5451	5468
24	26. – 30.4.	123.1	117.1	5595	5463	5479
25	1. – 5.5.	125.2	119.1	5606	5474	5491
26	6. – 10.5.	127.5	121.3	5618	5486	5504
27	11. – 15.5.	130.1	123.6	5630	5497	5516
28	16. – 20.5.	132.6	125.9	5642	5509	5528
29	21. – 25.5.	135.0	127.9	5654	5520	5541
30	26. – 30.5.	137.1	129.6	5666	5531	5553
31	31.5. – 4.6.	138.8	130.8	5678	5542	5565
32	5. – 9.6.	140.1	131.5	5690	5553	5576
33	10. – 14.6.	140.8	131.7	5701	5563	5588
34	15. – 19.6.	141.0	131.3	5712	5572	5598
35	20. – 24.6.	140.8	130.4	5722	5581	5608
36	25. – 29.6.	140.1	129.2	5732	5590	5617
37	30.6. – 4.7.	139.1	127.7	5741	5597	5625
38	5. – 9.7.	138.0	126.2	5749	5604	5632
39	10. – 14.7.	136.7	124.6	5757	5610	5639
40	15. – 19.7.	135.5	123.3	5763	5615	5643
41	20. – 24.7.	134.5	122.3	5768	5619	5647
42	25. – 29.7.	133.9	121.8	5771	5622	5650
43	30.7. – 3.8.	133.6	121.9	5774	5623	5651
44	4. – 8.8.	133.7	122.6	5775	5624	5650
45	9. – 13.8.	134.3	123.9	5774	5623	5649

Pentade	Datum	Absolute Topographie			Relative Topographie	
		1000 mb	500 mb	1000/500 mb	rn	rs
		HHn	HHs	hh		
46	14. – 18.8.	135.4	125.8	5772	5621	5646
47	19. – 23.8.	136.8	128.3	5769	5618	5641
48	24. – 28.8.	138.6	131.2	5765	5613	5636
49	29.8. – 2.9.	140.7	134.4	5759	5608	5629
50	3. – 7.9.	142.8	137.7	5752	5601	5621
51	8. – 12.9.	144.9	141.0	5743	5593	5612
52	13. – 17.9.	146.8	144.0	5734	5584	5602
53	18. – 22.9.	148.4	146.6	5724	5574	5591
54	23. – 27.9.	149.6	148.7	5712	5564	5579
55	28.9. – 2.10.	150.3	150.1	5700	5553	5567
56	3. – 7.10.	150.4	150.8	5687	5541	5554
57	8. – 12.10.	150.0	150.6	5674	5528	5541
58	13. – 17.10.	149.0	149.7	5661	5515	5528
59	18. – 22.10.	147.5	148.1	5647	5502	5514
60	23. – 27.10.	145.6	145.9	5633	5488	5500
61	28.10. – 1.11.	143.3	143.2	5619	5475	5487
62	2. – 6.11.	140.9	140.1	5606	5461	5474
63	7. – 11.11.	138.6	136.9	5593	5448	5461
64	12. – 16.11.	136.3	133.8	5580	5435	5448
65	17. – 21.11.	134.4	131.0	5568	5423	5437
66	22. – 26.11.	132.9	128.5	5556	5411	5425
67	27.11. – 1.12.	131.9	126.6	5545	5399	5415
68	2. – 6.12.	131.6	125.4	5535	5389	5405
69	7. – 11.12.	131.9	125.0	5526	5379	5396
70	12. – 16.12.	132.9	125.2	5517	5369	5388
71	17. – 21.12.	134.5	126.3	5510	5361	5380
72	22. – 26.12.	136.6	127.9	5503	5354	5374
73	27. – 31.12.	139.1	130.1	5497	5348	5368

8.2. Jahresverlauf der Temperatur und der Sonnenscheindauer

Der jahreszeitliche Verlauf der Stationsvariablen Temperatur und Sonnenscheindauer kann ebenfalls durch die Pentadenmittel dargestellt werden. Auch hier ist als Glättungsmethode die Fourieranalyse mit nachfolgender Fouriersynthese benutzt worden.

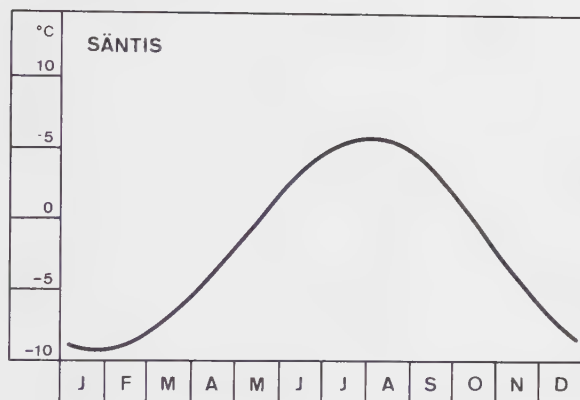
Der Niederschlag weist im allgemeinen eine grosse Varianz auf. Eine Darstellung seines klimatologischen Jahresverlaufs aufgrund der 14 Jahre kommt also nicht in Frage.

Bei der Festlegung der Anzahl q der Harmonischen hat es sich ergeben, dass für den Verlauf der Temperatur und der Sonnenscheindauer sämtlicher fünf Stationen $q = 2$ genügt.

Tab. 8.3 Fourier-Koeffizienten (a_n, b_n) und Amplitudenwerte (c_n) der Temperatur T und der Sonnenscheindauer S (Periode 1955 – 1968).

	Säntis		Zürich		Genf		Davos		Lugano	
	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S
a_0	−1.88	5.12	8.69	4.52	9.45	5.27	3.41	4.51	11.94	5.54
a_1	−6.83	−1.19	−9.15	−3.01	−9.06	−3.75	−9.06	−1.67	−9.39	−2.18
a_2	−0.07	−0.52	−0.42	−0.19	−0.06	−0.09	−0.25	−0.39	−0.36	0.19
b_1	−3.04	−0.21	−1.72	0.55	−1.82	0.74	−2.30	0.04	−2.01	0.33
b_2	0.29	0.09	0.42	0.48	0.39	0.54	0.25	0.35	0.49	0.57
c_1	7.48	1.21	9.31	3.06	9.24	3.82	9.35	1.67	9.61	2.20
c_2	0.30	0.53	0.59	0.51	0.40	0.55	0.35	0.52	0.60	0.60

TEMPERATUR



SONNENSCHNEINDAUER

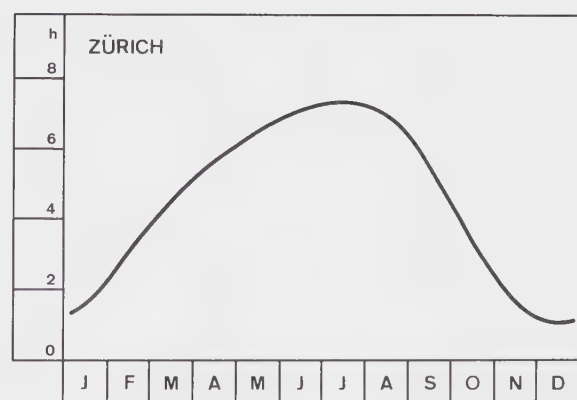
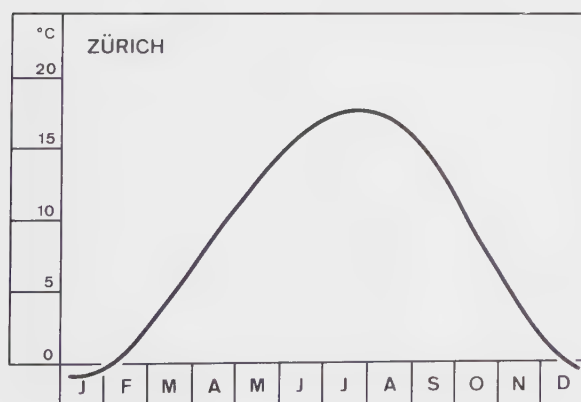
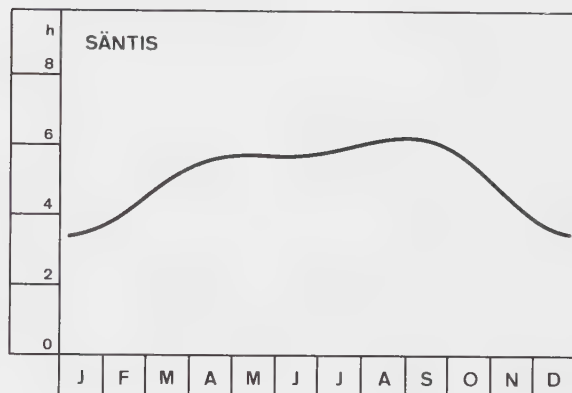
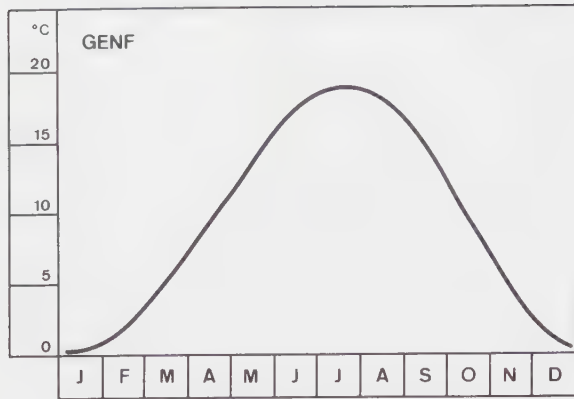


Abb. 8.4 Klimatologischer Jahresverlauf der Temperatur und der Sonnenscheindauer für die Stationen Säntis und Zürich während der Periode 1955 – 1968.
Vergleich: Voralpengipfelstation — Mittellandstation.

TEMPERATUR



SONNENSCHENDAUER

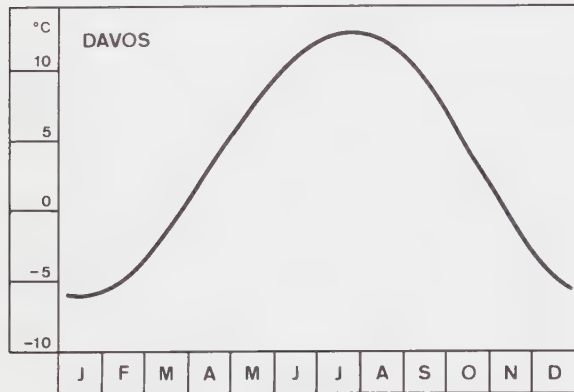
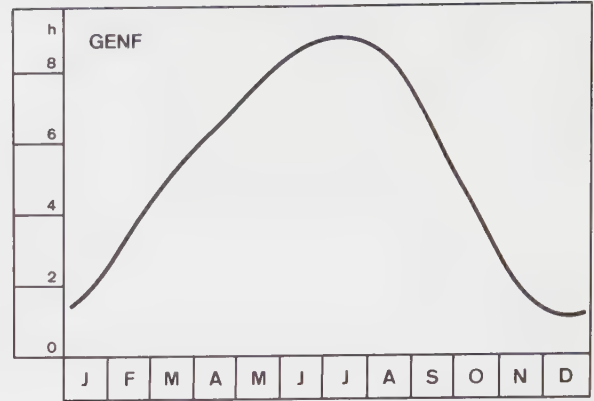
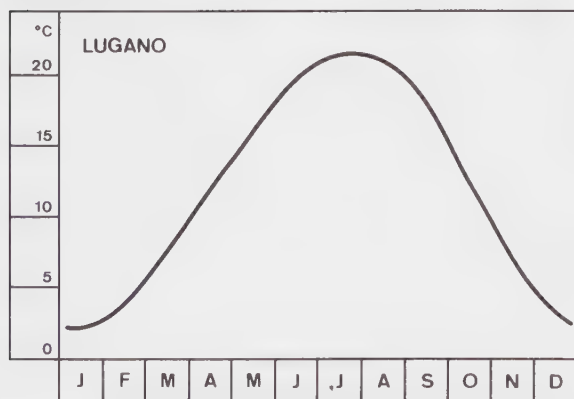


Abb. 8.5 Klimatologischer Jahresverlauf der Temperatur und der Sonnenscheindauer für die Stationen Genf und Davos während der Periode 1955 – 1968.
Vergleich: Mittellandstation – Alpine Station.

TEMPERATUR



SONNENSCHENDAUER

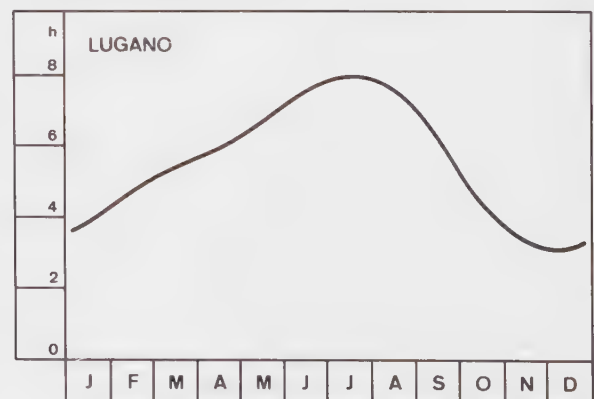


Abb. 8.6 Klimatologischer Jahresverlauf der Temperatur und der Sonnenscheindauer für Lugano während der Periode 1955 – 1968.

Tab. 8.4 Geglättete Pentadenmittel der Temperatur T (°C) und der Sonnenscheindauer S (h) für die Periode 1955 – 1968.

Pentade	Säntis		Zürich		Genf		Davos		Lugano	
	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S
1	–8.8	3.4	–0.9	1.3	0.3	1.4	–5.9	2.5	2.2	3.6
2	–9.0	3.4	–0.9	1.5	0.3	1.6	–6.0	2.5	2.1	3.7
3	–9.1	3.5	–0.9	1.6	0.3	1.8	–6.1	2.6	2.2	3.8
4	–9.2	3.5	–0.8	1.8	0.4	2.0	–6.0	2.7	2.3	4.0
5	–9.2	3.6	–0.6	2.0	0.5	2.3	–5.9	2.9	2.4	4.1
6	–9.2	3.7	–0.3	2.2	0.7	2.5	–5.8	3.0	2.7	4.2
7	–9.1	3.8	0.0	2.5	1.0	2.8	–5.5	3.2	3.0	4.4
8	–9.0	3.9	0.4	2.7	1.3	3.1	–5.3	3.3	3.4	4.5
9	–8.8	4.1	0.8	3.0	1.6	3.3	–4.9	3.5	3.8	4.7
10	–8.6	4.2	1.3	3.2	2.0	3.6	–4.5	3.7	4.2	4.8
11	–8.4	4.3	1.8	3.4	2.5	3.9	–4.0	3.8	4.8	4.9
12	–8.1	4.5	2.4	3.7	3.0	4.2	–3.5	4.0	5.3	5.0
13	–7.8	4.6	3.0	3.9	3.5	4.5	–3.0	4.2	5.9	5.1
14	–7.4	4.8	3.6	4.2	4.1	4.7	–2.4	4.3	6.5	5.2
15	–7.0	4.9	4.3	4.4	4.7	5.0	–1.8	4.5	7.2	5.3
16	–6.6	5.1	4.9	4.6	5.3	5.3	–1.1	4.6	7.8	5.4
17	–6.1	5.2	5.6	4.8	6.0	5.5	–0.4	4.7	8.5	5.5
18	–5.6	5.3	6.3	5.0	6.6	5.8	0.3	4.8	9.2	5.5
19	–5.1	5.4	7.0	5.2	7.3	6.0	1.0	4.9	9.9	5.6
20	–4.6	5.5	7.7	5.3	8.0	6.2	1.7	5.0	10.7	5.7
21	–4.0	5.5	8.4	5.5	8.8	6.4	2.5	5.1	11.4	5.8
22	–3.5	5.6	9.1	5.7	9.5	6.6	3.2	5.1	12.1	5.9
23	–2.9	5.7	9.8	5.8	10.2	6.8	3.9	5.2	12.8	6.0
24	–2.3	5.7	10.5	6.0	10.9	7.0	4.7	5.2	13.5	6.1
25	–1.7	5.7	11.2	6.1	11.6	7.2	5.4	5.2	14.2	6.2
26	–1.1	5.7	11.8	6.2	12.3	7.4	6.1	5.3	14.9	6.4
27	–0.5	5.7	12.5	6.4	13.0	7.6	6.8	5.3	15.6	6.5
28	0.1	5.7	13.1	6.5	13.7	7.8	7.5	5.3	16.2	6.6
29	0.7	5.7	13.7	6.6	14.3	7.9	8.1	5.4	16.8	6.8
30	1.2	5.7	14.2	6.7	15.0	8.1	8.7	5.4	17.4	6.9
31	1.8	5.7	14.8	6.8	15.5	8.3	9.3	5.4	18.0	7.1
32	2.3	5.7	15.3	6.9	16.1	8.4	9.8	5.5	18.6	7.2
33	2.8	5.7	15.7	7.0	16.6	8.5	10.4	5.5	19.1	7.4
34	3.3	5.7	16.2	7.1	17.1	8.6	10.8	5.6	19.5	7.5
35	3.8	5.7	16.5	7.2	17.5	8.7	11.3	5.6	20.0	7.6
36	4.2	5.7	16.9	7.2	17.9	8.8	11.6	5.7	20.4	7.7
37	4.5	5.8	17.2	7.3	18.2	8.9	11.9	5.7	20.7	7.8
38	4.9	5.8	17.4	7.3	18.4	8.9	12.2	5.8	21.0	7.9
39	5.2	5.8	17.6	7.4	18.6	8.9	12.4	5.8	21.2	8.0
40	5.4	5.9	17.7	7.4	18.8	8.9	12.6	5.9	21.4	8.0
41	5.6	5.9	17.8	7.4	18.8	8.9	12.7	5.9	21.5	8.0
42	5.7	6.0	17.8	7.3	18.8	8.8	12.7	6.0	21.5	8.0
43	5.8	6.0	17.8	7.3	18.7	8.7	12.6	6.0	21.5	7.9
44	5.8	6.1	17.7	7.2	18.5	8.6	12.5	6.0	21.3	7.9
45	5.7	6.1	17.5	7.1	18.3	8.4	12.3	6.1	21.2	7.8
46	5.6	6.2	17.2	6.9	18.0	8.2	12.1	6.0	20.9	7.6
47	5.4	6.2	16.9	6.8	17.6	8.0	11.8	6.0	20.6	7.5
48	5.2	6.2	16.5	6.6	17.2	7.7	11.4	6.0	20.2	7.3
49	4.9	6.2	16.0	6.4	16.7	7.4	11.0	5.9	19.7	7.1
50	4.6	6.2	15.5	6.1	16.1	7.1	10.4	5.8	19.2	6.8

Pentade	Säntis		Zürich		Genf		Davos		Lugano	
	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S
51	4.2	6.2	14.9	5.9	15.5	6.8	9.9	5.7	18.6	6.6
52	3.7	6.2	14.3	5.6	14.8	6.4	9.3	5.6	17.9	6.3
53	3.2	6.1	13.6	5.3	14.1	6.0	8.6	5.5	17.2	6.0
54	2.7	6.1	12.8	5.0	13.3	5.6	7.9	5.3	16.4	5.7
55	2.1	6.0	12.1	4.7	12.6	5.2	7.1	5.2	15.6	5.4
56	1.5	5.9	11.2	4.3	11.7	4.8	6.4	5.0	14.7	5.2
57	0.9	5.8	10.4	4.0	10.9	4.4	5.6	4.8	13.9	4.9
58	0.3	5.7	9.5	3.6	10.1	4.0	4.7	4.6	13.0	4.6
59	−0.4	5.5	8.6	3.3	9.2	3.6	3.9	4.3	12.1	4.3
60	−1.1	5.3	7.8	3.0	8.4	3.2	3.0	4.1	11.1	4.1
61	−1.8	5.2	6.9	2.7	7.5	2.9	2.2	3.9	10.2	3.9
62	−2.4	5.0	6.0	2.4	6.7	2.5	1.3	3.7	9.3	3.7
63	−3.1	4.8	5.2	2.1	5.9	2.2	0.5	3.5	8.5	3.5
64	−3.8	4.6	4.4	1.9	5.2	1.9	−0.3	3.3	7.6	3.4
65	−4.4	4.5	3.6	1.7	4.4	1.7	−1.1	3.1	6.8	3.3
66	−5.0	4.3	2.8	1.5	3.8	1.5	−1.8	2.9	6.0	3.2
67	−5.6	4.1	2.2	1.3	3.1	1.3	−2.5	2.8	5.3	3.1
68	−6.1	4.0	1.5	1.2	2.6	1.2	−3.1	2.6	4.7	3.1
69	−6.6	3.8	1.0	1.1	2.1	1.1	−3.7	2.5	4.1	3.1
70	−7.1	3.7	0.5	1.1	1.6	1.1	−4.3	2.5	3.6	3.1
71	−7.5	3.6	0.1	1.1	1.2	1.1	−4.7	2.4	3.2	3.2
72	−7.9	3.5	−0.3	1.1	0.9	1.1	−5.1	2.4	2.8	3.2
73	−8.3	3.5	−0.6	1.1	0.6	1.2	−5.5	2.4	2.5	3.3

9. **Modifikation ausgewählter Variablen**

Problem der Jahreszeit

Die im vorigen Abschnitt aufgeführten Variablen weisen einen deutlichen Jahresgang auf, was eine allgemeine Behandlung des Datenmaterials erschwert.

Eine zeitliche Aufteilung der einzelnen Messreihen, z.B. in die vier Jahreszeiten, würde den Jahresgang wohl brechen, die Zahl der Beobachtungstage pro Wetterlage jedoch verkleinern. Um dieser Tatsache Rechnung zu tragen, wird in der vorliegenden Arbeit für jeden Messwert die Abweichung vom entsprechenden geglätteten Pentadenmittel bestimmt; nur diese berechnete Abweichung geht in die Untersuchung ein. Mit dieser Modifikation kann der Jahresgang weitgehend unterdrückt, also eine zeitliche Aufteilung der Messreihen vermieden werden.

Beispiel

Station Säntis; Berechnung der Temperaturabweichung (transformierte Temperatur).

a) Datum: 1. Januar

Gemessene Tagestemperatur (Dreiermittel):
Pentadenmittel der 1. Pentade (s. Tab. 8.4):
Temperaturabweichung:

$$\Delta T = T_G - T_P = 0^{\circ}\text{C} - (-8.8^{\circ}\text{C}) = 8.8^{\circ}\text{C}$$

b) Datum: 1. August

Gemessene Tagestemperatur (Dreiermittel):
Pentadenmittel der 43. Pentade:
Temperaturabweichung:

$$\Delta T = T_G - T_P = 0^{\circ}\text{C} - 5.8^{\circ}\text{C} = -5.8^{\circ}\text{C}$$

Die Messreihen der Periode 1955 – 1968 sind für folgende Variablen modifiziert, d.h. deren Abweichung vom entsprechenden geglätteten Pentadenmittel bestimmt worden:

Alpenwetterstatistikvariablen:

– Abs. Topographie 1000 mb (Alpennordseite):	HHn	Δ HHn
– Abs. Topographie 1000 mb (Alpensüdseite):	HHs	Δ HHs
– Abs. Topographie 500 mb (Zentralpunkt):	hh	Δ hh
– Rel. Topographie 1000/500 mb (Alpennordseite):	rn	Δ rn
– Rel. Topographie 1000/500 mb (Alpensüdseite):	rs	Δ rs

Transformierte Variablen

Stationsvariablen:

– Temperatur der Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano:	T	Δ T
– Sonnenscheindauer der Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano:	S	Δ S

Für die Strömungslagen, bei denen sämtliche zwölf Monate eine statistisch vertretbare Gruppengrösse aufweisen, sind die monatlichen Mittelwerte und Standardabweichungen der transformierten Stationsvariablen Temperatur Δ T und Sonnenscheindauer Δ S berechnet worden. Ein Vergleich dieser Grössen zeigt, dass die Strömungslagen bezüglich der Mittelwerte und Standardabweichungen dieser beiden transformierten Variablen weitgehend jahreszeitunabhängig sind. Diese statistischen Grössen sind Bestandteil der Abgrenzungskriterien, die auf die verschiedenen Strömungsverhältnisse angewendet werden. Eine durchgehende zeitliche Gliederung des Datenmaterials kann also vollends umgangen werden.

Nachfolgend sind die mittleren Abweichungen der Temperatur und der Sonnenscheindauer für die drei grössten Windgruppen tabelliert.

Tab. 9.1 Höhenstromlagen mit Strömungsrichtung WSW (d = +5):
Mittelwerte der Temperatur $\overline{\Delta T}$ (°C) und der Sonnenscheindauer $\overline{\Delta S}$ (h) der Periode 1955 – 1968
(Minimum: 15 Tage im Februar; Maximum: 69 Tage im August).

	Säntis		Zürich		Genf		Davos		Lugano	
	$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$	$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$	$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$	$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$	$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$
Jan.	0.1	–1.2	1.7	–0.1	0.9	–0.7	0.9	–0.5	0.1	–2.2
Feb.	0.3	–1.8	–0.6	–1.4	0.0	–1.4	1.1	–1.4	–1.5	–3.1
März	0.3	–0.3	0.8	–0.7	0.7	–1.5	0.2	–0.7	–0.1	–2.5
April	0.0	–1.6	–0.4	–1.3	0.0	–0.9	0.3	–1.5	–1.2	–2.8
Mai	2.1	0.6	1.3	0.0	1.0	–1.1	2.2	0.9	0.4	–1.2
Juni	1.7	0.3	0.9	–0.5	0.5	–0.7	1.4	0.2	0.0	–1.8
Juli	0.7	–0.3	0.3	–1.0	0.5	–1.2	0.7	0.1	–0.1	–1.8
Aug.	0.4	–0.7	0.0	–1.9	0.0	–2.2	0.6	–0.7	–0.3	–2.3
Sept.	0.0	–2.6	0.2	–2.1	0.3	–1.9	0.4	–1.2	–0.3	–2.3
Okt.	–0.3	–0.2	0.1	0.5	0.0	0.2	0.0	–0.4	–0.1	0.3
Nov.	–1.0	–0.7	0.2	0.3	0.4	–0.3	0.2	–1.0	0.4	–1.8
Dez.	0.8	0.1	0.5	0.1	0.6	–0.1	0.8	0.3	–0.3	–1.3
Jahr	0.6	–0.5	0.4	–0.8	0.4	–1.1	0.8	–0.3	–0.1	–1.8

Tab. 9.2 Strömungslagen bezüglich der Bodenströmungsrichtung ENE ($D = +1$):
Mittelwerte der Temperatur $\overline{\Delta T}$ ($^{\circ}\text{C}$) und der Sonnenscheindauer $\overline{\Delta S}$ (h) der Periode 1955–1968
(Minimum: 23 Tage im Oktober; Maximum: 49 Tage im Mai).

	Säntis		Zürich		Genf		Davos		Lugano	
	$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$	$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$	$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$	$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$	$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$
Jan.	−3.7	1.0	−2.7	0.4	−2.4	0.9	−3.3	0.7	0.2	1.8
Feb.	−3.9	1.5	−3.2	0.7	−2.6	1.6	−3.7	0.6	0.1	2.2
März	−3.1	−0.7	−1.9	−0.4	−1.0	1.8	−2.6	−0.6	0.6	3.0
April	−3.5	−3.5	−3.3	−2.8	−1.9	−0.2	−3.0	−2.4	0.0	0.7
Mai	−3.0	−2.8	−2.9	−1.2	−1.8	1.8	−2.9	−1.6	−0.1	1.3
Juni	−3.4	−2.7	−3.2	−1.6	−1.9	1.4	−3.6	−2.3	−0.3	1.5
Juli	−2.7	−2.3	−2.0	−1.7	−1.3	0.7	−2.7	−2.0	−0.1	1.7
Aug.	−3.9	−3.7	−2.7	−1.5	−1.9	−0.1	−3.0	−2.4	−0.4	1.6
Sept.	−3.8	−2.8	−2.4	−1.1	−1.6	0.2	−2.5	−1.6	0.0	1.8
Okt.	−3.7	−1.2	−1.8	−0.3	−0.5	1.4	−2.5	−1.3	0.6	1.5
Nov.	−4.1	−0.6	−2.5	−0.4	−1.8	0.3	−3.0	−0.9	0.0	1.6
Dez.	−3.6	−0.2	−1.6	0.3	−1.6	0.9	−3.0	0.0	0.2	1.8
Jahr	−3.5	−1.5	−2.5	−0.8	−1.7	0.9	−3.0	−1.1	0.0	1.7

Tab. 9.3 Schwachwindlagen: Mittelwerte der Temperatur $\overline{\Delta T}$ ($^{\circ}\text{C}$) und der Sonnenscheindauer $\overline{\Delta S}$ (h) der Periode 1955 – 1968 (Minimum: 14 Tage im Januar; Maximum: 87 Tage im September).

	Säntis		Zürich		Genf		Davos		Lugano	
	$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$	$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$	$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$	$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$	$\overline{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$
Jan.	3.9	2.2	−0.5	−1.1	0.0	−1.7	1.7	2.0	0.6	0.2
Feb.	3.2	2.8	1.1	2.3	0.0	1.9	1.8	1.2	0.3	1.0
März	2.7	0.9	2.2	0.8	1.1	1.1	1.5	0.9	0.7	0.4
April	2.7	3.1	3.2	2.6	2.4	2.5	2.2	2.9	1.7	2.0
Mai	1.6	2.1	1.6	2.1	0.7	1.3	1.3	1.2	−0.1	0.0
Juni	3.2	2.9	2.8	2.7	2.0	1.3	2.6	1.4	1.0	0.6
Juli	3.7	3.5	3.5	2.8	2.8	1.8	2.7	1.4	1.7	0.7
Aug.	1.8	1.6	1.5	0.9	1.0	−0.1	1.5	0.7	0.6	0.1
Sept.	2.7	2.8	1.5	1.6	1.3	0.8	1.5	2.0	0.7	0.3
Okt.	3.2	3.7	0.9	0.5	0.2	0.5	1.2	1.9	0.8	1.7
Nov.	2.4	2.5	−0.8	−0.7	−0.5	−0.2	0.8	1.1	0.8	0.0
Dez.	0.3	2.9	−2.5	−0.1	−1.5	0.1	−1.7	2.1	−1.3	0.8
Jahr	2.7	2.7	1.6	1.5	1.1	0.9	1.6	1.6	0.8	0.7

Einführung neuer Variablen

Meteorologische Ereignisse können im allgemeinen nicht als stochastisch voneinander unabhängig betrachtet werden. Die Messgrößen sind Funktionen des Ortes und der Zeit und somit nicht vertauschbar.

Der Forderung, einen Zeitfaktor in die Untersuchung miteinzubeziehen, wird insofern entsprochen, als zusätzlich die tägliche Änderung der Alpenwetterstatistikvariablen verarbeitet wird.

Zusammenstellung der Persistenzvariablen (Messwert minus Messwert vom Vortag):

– Abs. Topographie 1000 mb (Alpennordseite):	HHn – HHn _v
– Abs. Topographie 1000 mb (Alpensüdseite):	HHs – HHs _v
– Abs. Topographie 500 mb (Zentralpunkt):	hh – hh _v
– Rel. Topographie 1000/500 mb (Alpennordseite):	rn – rn _v
– Rel. Topographie 1000/500 mb (Alpensüdseite):	rs – rs _v

Standardisieren der Alpenwetterstatistikvariablen

Die standardisierten Werte (z_{ij}) erhält man, indem man von den ursprünglichen Messwerten (x_{ij}) der Variablen (x_i) den Mittelwert ($\bar{x}_i$) dieser Variablen subtrahiert und durch die Standardabweichung (s_i) dividiert (s. Abschnitt 3, Gleichung 3.1), also

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{s_i}$$

Die Variablen werden standardisiert, um sie untereinander vergleichbar zu machen.

Da die Mittelwerte der modifizierten Alpenwetterstatistikvariablen praktisch Null werden, können wir beim Standardisieren direkt die Ausgangswerte durch die Standardabweichung dividieren. Einzig für die Höhendifferenz der 1000-mb-Flächen (ggg) muss der Mittelwert ($\overline{ggg} = 6.7$) mitgeführt werden.

Tab. 9.4 Standardabweichungen der modifizierten Alpenwetterstatistikvariablen der Periode 1955 – 1968.

Variable	Standardabweichung
Δ HHn	64.7
Δ HHs	61.4
Δ hh	102.0
Δ rn	79.7
Δ rs	68.5
ggg	38.9
HHn – HHn _v	44.6
HHs – HHs _v	42.9
hh – hh _v	62.4
rn – rn _v	57.4
rs – rs _v	49.8

Sämtliche in Tab. 9.4 aufgeführten Variablen sind standardisiert worden.

IV. Kriterien für die Trennung von Strömungslagen

Nun stellt sich die Kernfrage, nämlich die Frage der Abgrenzung. Nach welchen Kriterien sollen einzelne Wetterlagen gegenseitig abgegrenzt werden?

Wir gehen von der Tatsache aus, dass die in Abschnitt 6.2 aufgeführten Variablen der Alpenwetterstatistik dank der numerischen Prognosenkarten prognostiziert werden können. Man kann nun diese Alpenwetterstatistikvariablen unter sich gruppieren, in der Hoffnung, der Wetterablauf sei dann an irgend einem Ort im zentralen Alpenraum für eine solche Wetterlage charakteristisch und könne somit ebenfalls prognostiziert werden.

Grossräumige meteorologische Elemente wirken sich auf kleinräumige Wetterabläufe je nach örtlichen Gegebenheiten, wie Relief und Höhenlage, verschieden aus. In unseren alpinen Gebieten kommt die orographisch bedingte Differenzierung des Wetterablaufes besonders deutlich zum Ausdruck. Hier müssen die einzelnen Regionen getrennt untersucht werden. Es sollen daher im folgenden die Wetterelemente Temperatur, Sonnenschein und Niederschlag der diesen Alpenraum charakterisierenden Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano mit den Variablen der Alpenwetterstatistik in Beziehung gebracht werden.

Voruntersuchungen, durchgeführt mit den Stationen Säntis und Zürich haben ergeben, dass gewisse Zusammenhänge bestehen zwischen der Boden- und Höhenströmung einerseits und den Wetterelementen Temperatur, Sonnenschein und Niederschlag dieser Stationen andererseits. Die Wichtigkeit der Boden- und Höhenströmung aufgrund dieser Voruntersuchungen und die Tatsache, dass vor allem die Höhenströmung mit Hilfe dynamischer Modelle recht gut prognostiziert werden kann, haben mich bewogen, verschiedene Strömungsfelder zu untersuchen und abzugrenzen.

Die Aufgabe besteht nun darin, verschiedene Strömungsrichtungen gleicher Strömungslagen, bei denen sich die Wetterelemente bezüglich einer ausgewählten Station ähnlich verhalten, für diese Station zusammenzufassen.

Es sei noch festgehalten, dass die ganze Periode 1955 – 1968 als Stichprobe betrachtet wird. Demzufolge werden sämtliche Werte dieser etwas mehr als 5000 Tage in die Untersuchung eingehen.

10. Trennung aufgrund unterschiedlicher linearer Abhängigkeit

In diesem Abschnitt geht es darum, für die verschiedenen Strömungsfelder lineare Beziehungen zwischen den Ausgangsvariablen einerseits und den Stationsvariablen andererseits herzuleiten. Aufgrund dieser Zusammenhänge werden benachbarte Windgruppen getrennt bzw. zusammengefasst.

Zur Beurteilung linearer Abhängigkeiten verwenden wir die Regressions- und Korrelationsrechnung. Das Bestimmtheitsmass B gibt an, welcher Anteil der Varianz der abhängigen Variablen (Stationsvariablen) sich aus der Veränderung einer oder mehrerer unabhängiger Variablen (Alpenwetterstatistikvariablen) erklären lässt.

Als Mass für eine Trennung bzw. Zusammenfassung verschiedener Windgruppen dient der mittlere Fehler s_* der Regressionswerte Y_j :

$$s_* = \sqrt{\frac{\sum (y_j - Y_j)^2}{n - q - 1}}, \quad \text{wo: } q = \text{Anzahl der unabhängigen Variablen}$$

bei einem Toleranzwert von 0.1.

Da der Mittelwert der Residuen gleich Null wird, $\frac{1}{n} \sum (y_j - Y_j) = 0$, kann der mittlere Fehler s_* der Regressionswerte als Standardabweichung der Residuen angesehen werden. Sind nun die Residuen annähernd normalverteilt, können wir erwarten, dass bei einer hinreichend grossen Stichprobe ungefähr 2/3 aller Regressionswerte Y_j weniger als s_* von ihren Erwartungswerten y_j abweichen.

Die Wahrscheinlichkeit $P(-s_* < (y_j - Y_j) \leq s_*)$ beträgt 68%.

Um die Übersicht zu erleichtern, sei der Arbeitsablauf anhand einer einfachen Strömungslage (Boden- oder Höhenströmung) kurz skizziert:

- Schritt 1: Wahl der Station und des Wetterelementes;
- Schritt 2: Berechnung einer Regressionsgleichung je Strömungsrichtung;
- Schritt 3: Berechnung einer Regressionsgleichung je zweier benachbarter Strömungsrichtungen;
- Schritt 4: Vergleich der resultierenden mittleren Fehler: Einzelgruppen – zusammengefasste Gruppen.

Übersteigen die mittleren Fehler zusammengefasster Windgruppen diejenigen ihrer Einzelgruppen um mehr als 0.1 (Toleranzwert), werden die entsprechenden Gruppen getrennt, andernfalls zusammengefasst.

Durch das Miteinbeziehen der Höhenwindstärke f konnten die Resultate der Voruntersuchungen nicht verbessert werden. Ein Mitführen dieser Variable hat sich demnach nicht aufgedrängt.

10.1. Anwendung der Faktorenanalyse

Um bei den vielen Teilschritten der Regressionsanalyse nicht immer sämtliche Variablen einzeln mitführen zu müssen, wird die Zahl der Variablen mit Hilfe der Faktorenanalyse reduziert.

Die Faktorenanalyse wird nicht auf bestimmte Windgruppen, sondern gesamthaft auf die in Tab. 9.4 aufgeführten Variablen der Periode 1955 – 1968 angewendet.

Durch eine monatliche Aufteilung des Datenmaterials mit anschliessender Faktorenanalyse und Regressionsanalyse konnte keine Resultatsverbesserung erzielt werden, was weitgehend in der in Abschnitt 9 durchgeführten Variablentransformation begründet liegt.

Die abs. Topographie 500 mb, welche mit der abs. Topographie 1000 mb und der rel. Topographie 1000/500 mb hoch korreliert ist, wird durch die Faktorenanalyse je zur Hälfte den Faktoren dieser beiden Variablen zugeschrieben, weshalb ich bei der Faktorenanalyse auf die abs. Topographie 500 mb verzichtet habe. Die Resultate sind dadurch nicht beeinträchtigt worden.

Datenmatrix $X = (x_{ij})$:

Variable		Variablenwert		
(x_i)		(x_{i1})		(x_{i5110})
1	(Δrn)	–198		–198
2	(Δrs)	–130		–198
3	(ΔHHn)	52.3		78.9
4	(ΔHHs)	33.6		41.9
5	(ggg)	28		46
6	$(rn - rn_v)$	–250		10
7	$(rs - rs_v)$	–150		20
8	$(HHn - HHn_v)$	1		91
9	$(HHs - HHs_v)$	6		23

Korrelationsmatrix $R = (r_{ik})$:

Der erste Index i ist der Zeilenindex, der zweite k der Spaltenindex des Matrixelementes r_{ik} . Für $i = k$ ist der Korrelationskoeffizient $r_{ik} = 1.0$, also $r_{11} = r_{22} = \dots = r_{mm} = 1.0$.

Variable 1 (Δrn)								
1.000	0.847	0.017	0.376	–0.566	0.360	0.309	–0.276	–0.119
Variable 2 (Δrs)								
0.847	1.000	0.069	0.252	–0.284	0.148	0.364	–0.159	–0.170
Variable 3 (ΔHHn)								
0.017	0.069	1.000	0.812	0.380	0.055	0.052	0.346	0.344
Variable 4 (ΔHHs)								
0.376	0.252	0.812	1.000	–0.228	0.322	0.197	0.057	0.350
Variable 5 (ggg)								
–0.566	–0.284	0.380	–0.228	1.000	–0.415	–0.224	0.484	0.019
Variable 6 $(rn - rn_v)$								
0.360	0.148	0.055	0.322	–0.415	1.000	0.632	–0.303	0.297
Variable 7 $(rs - rs_v)$								
0.309	0.364	0.052	0.197	–0.224	0.632	1.000	–0.142	0.051
Variable 8 $(HHn - HHn_v)$								
–0.276	–0.159	0.346	0.057	0.484	–0.303	–0.142	1.000	0.578
Variable 9 $(HHs - HHs_v)$								
–0.119	–0.170	0.344	0.350	0.019	0.297	0.051	0.578	1.000

Wie die Korrelationsmatrix R zeigt, besteht eine lineare Abhängigkeit zwischen den Variablen 1 und 2 ($r_{12} = 0.847$) und den Variablen 3 und 4 ($r_{34} = 0.812$). Die übrigen Korrelationskoeffizienten stehen klar zurück, d.h. die lineare Abhängigkeit der restlichen Variablen ist geringer.

Bei einer uneingeschränkten Lösung der Faktorenanalyse wird im allgemeinen die Faktorenzahl genau gleich gross wie die Zahl der Variablen. Um zu einer Reduktion zu gelangen, wird die Zahl der Faktoren so eingeschränkt, dass nur diejenigen Faktoren berücksichtigt werden, welche die grössten Beiträge zur Erklärung der ursprünglichen Daten liefern.

Der Eigenwert λ_i gibt für jeden Faktor an, wie gross der von ihm erklärte Anteil an der gesamten Varianz der Variablen ist.

Aufgrund der Korrelationsmatrix R haben sich folgende Eigenwerte λ_i und Eigenvektoren α_i ergeben:

Faktor	Eigenwert	Erklärter Varianzanteil
1	3.046	33.8 %
2	2.361	26.3 %
3	1.296	14.4 %
4	0.898	10.0 %
5	0.871	9.6 %

Durch diese fünf Faktoren werden somit 94.1 % der Gesamtvarianz erklärt.

Eigenvektoren:

Vektor α_1									
0.492	0.409	0.023	0.278	−0.402	0.388	0.356	−0.271	−0.026	
Vektor α_2									
−0.026	−0.013	0.569	0.476	0.195	0.118	0.079	0.408	0.474	
Vektor α_3									
−0.323	−0.474	−0.267	−0.156	−0.197	0.536	0.313	−0.051	0.386	
Vektor α_4									
0.183	0.413	−0.308	−0.438	0.182	−0.049	0.333	0.555	0.234	
Vektor α_5									
0.214	−0.028	−0.254	0.077	−0.552	−0.162	−0.571	0.196	0.432	

Mit Hilfe der Normierungsgleichung (3.9) erhalten wir aus den Werten der Eigenvektoren die Matricelemente a_{ij} der Faktorenmatrix A .

Matrix der Faktorenladungen $A = (a_{ij})$:

Variable (x_i)	1. Faktor (a_{i1})	2. Faktor (a_{i2})	3. Faktor (a_{i3})	4. Faktor (a_{i4})	5. Faktor (a_{i5})
1	0.858	−0.040	−0.368	0.174	0.200
2	0.714	−0.019	−0.539	0.391	−0.027
3	0.040	0.874	−0.304	−0.292	−0.238
4	0.485	0.731	−0.178	−0.415	0.072
5	−0.701	0.300	−0.224	0.172	−0.515
6	0.677	0.181	0.610	−0.047	−0.151
7	0.622	0.122	0.356	0.315	−0.533
8	−0.473	0.626	−0.058	0.526	0.183
9	−0.046	0.729	0.440	0.222	0.403

Aus den hohen Faktorenladungen lässt sich normalerweise die Bedeutung der Faktoren bestimmen, weil die Ladungen die Korrelation zwischen dem Faktor und den Variablen angeben.

Wie schon in Abschnitt 3 erwähnt, sind diese berechneten Faktorenladungen die Resultate der sog. Hauptachsenmethode. Sie sind jedoch nicht die beste Lösung in bezug auf die Interpretierbarkeit der einzelnen Faktoren. Es wird eine Lösung angestrebt, bei der die mittleren Werte nach Möglichkeit verschwinden, so dass eine einfache Faktorenstruktur mit ausschliesslich hohen und tiefen Faktorenladungen vorliegt, die eine möglichst gute Erklärung der Faktorenbedeutung ermöglicht.

Durch eine Rotation nach dem sog. Varimax-Kriterium kann eine Vereinfachung der Faktorenstruktur erreicht werden. Dieses Kriterium verlangt, dass die Varianz der quadrierten Faktorenladungen a_{ij} in jeder Spalte der Matrix A ein Maximum sein soll.

Nach der Rotation:

Summe der quadrierten Faktorenladungen:

1. Faktor:	1.880	(20.9%)
2. Faktor:	1.848	(20.6%)
3. Faktor:	1.656	(18.4%)
4. Faktor:	1.543	(17.1%)
5. Faktor:	1.545	(17.1%)

Matrix der Faktorenladungen $A' = (a'_{ij})$:

Variable (x_i)	1. Faktor (a'_{i1})	2. Faktor (a'_{i2})	3. Faktor (a'_{i3})	4. Faktor (a'_{i4})	5. Faktor (a'_{i5})
1	0.862	0.146	0.149	−0.091	0.386
2	0.959	0.074	0.140	−0.093	0.019
3	0.019	0.927	0.028	0.176	−0.327
4	0.193	0.927	0.124	0.127	0.224
5	−0.275	0.078	−0.146	0.092	−0.903
6	0.007	0.167	0.823	0.058	0.425
7	0.268	0.012	0.914	−0.030	−0.065
8	−0.011	0.063	−0.190	0.822	−0.462
9	−0.178	0.253	0.167	0.889	0.159

Bedeutung der einzelnen Faktoren aufgrund ihrer hohen Faktorenladungen:

1. Faktor: Faktor der relativen Topographie 1000/500 mb.
($a'_{11} = 0.862$; $a'_{21} = 0.959$)
2. Faktor: Faktor der absoluten Topographie 1000 mb.
($a'_{32} = 0.927$; $a'_{42} = 0.927$)
3. Faktor: Faktor der Persistenz der relativen Topographie 1000/500 mb.
($a'_{63} = 0.823$; $a'_{73} = 0.914$)
4. Faktor: Faktor der Persistenz der absoluten Topographie 1000 mb.
($a'_{84} = 0.822$; $a'_{94} = 0.889$)
5. Faktor: Faktor der Höhendifferenz der 1000-mb-Flächen.
($a'_{55} = −0.903$)

Matrix der Faktorenwerte $P' = (p'_{ij})$:

Faktor (F_i)	Faktorenwert	
	(p'_{i1})	(p'_{i5110})
1	−1.735	−2.574
2	1.181	0.912
3	−3.868	0.684
4	−0.401	0.846
5	0.020	−0.990

Aus der Datenmatrix $X = (x_{ij})$ ist nach der Rotation die Matrix der Faktorenwerte $P' = (p'_{ij})$ hervorgegangen. Die ursprünglichen neun Variablen sind auf fünf Faktoren reduziert worden. Gemäss der Forderung, dass die Faktoren unkorreliert sein sollen (vgl. Abschnitt 3), ist die Korrelationsmatrix der Faktorenwerte die Einheitsmatrix I .

In der Folge wird nicht die Gesamtheit der modifizierten Variablen der Alpenwetterstatistik in die mehrfache Regressionsanalyse eingehen, sondern diese fünf Faktoren.

10.2. Durchführung der Regressions- und Korrelationsrechnung

Den Arbeitsablauf möchte ich anhand des folgenden Beispiels erläutern:

Strömungslage:	Höhenströmung
Stationsvariable:	Temperatur
Station:	Säntis

Korrelations- und Regressionsanalyse unter Verwendung der Faktoren

Die fünf Faktoren erklären 94% der Gesamtvarianz der modifizierten Variablen der Alpenwetterstatistik (vgl. Abschnitt 10.1). Deshalb ist es sinnvoll, die Voruntersuchungen mit dieser reduzierten Variablenzahl durchzuführen.

Für jede einzelne Strömungsrichtung (Windsektor) wird eine Korrelations- und Regressionsanalyse durchgeführt, wobei in die letztere Analyse als abhängige Variable y die Temperaturabweichung der Station Säntis und als unabhängige Variablen x_i die Faktoren F_1 bis F_5 eingehen.

In diesem ersten Schritt wird untersucht, ob eine lineare Beziehung besteht zwischen den Variablen y und x_i (Korrelation) und welcher Art diese ist (Regression). Die Prüfung, ob die Korrelationskoeffizienten bzw. die Regressionskoeffizienten signifikant von Null verschieden sind, erfolgt mit Hilfe der F-Verteilung (Signifikanzzahl $p = 0.001$) bzw. der t-Verteilung (Signifikanzzahl $p = 0.01$).

Tab. 10.1 Höhenstromlagen der Periode 1955 – 1968:
Teilergebnisse einer Korrelations- und Regressionsanalyse unter Verwendung der Temperaturabweichung auf dem Säntis (abhängige Variable) und der Faktoren (unabhängige Variablen).

d	Strömungsrichtung			F_i	miteinbezogene Faktoren		
n	Anzahl Tage			r	Korrelationskoeffizient		
$\overline{\Delta T}$	Mittelwert der Temperaturabweichung ΔT (°C)			s_*	mittlerer Fehler der Regressionswerte (°C)		
$s\Delta T$	Standardabweichung (°C)						
d	n	$\overline{\Delta T}$	$s\Delta T$	F_i	r	s_*	
6	355	0.3	3.5	$F_1 \dots F_5$	0.93	1.31	
–7	306	0.0	3.5	$F_1 \dots F_5$	0.93	1.32	
+7	155	0.2	3.3	F_1, F_2, F_4, F_5	0.91	1.37	
8	63	1.1	3.5	F_1	0.88	1.70	
–1	57	2.0	3.8	F_1	0.89	1.77	
+1	65	3.0	3.9	F_1, F_2, F_4, F_5	0.95	1.27	
2	32	3.7	2.8	F_1, F_2	0.88	1.37	
–3	39	3.5	3.1	F_1, F_2	0.95	0.97	
+3	42	2.9	3.0	F_1, F_2, F_5	0.93	1.15	
4	66	1.6	3.2	F_1, F_2, F_4, F_5	0.94	1.10	
–5	180	1.2	3.6	F_1, F_2, F_3, F_5	0.93	1.36	
+5	409	0.7	3.4	$F_1 \dots F_5$	0.92	1.35	

Eine Trennung bzw. Zusammenfassung benachbarter Windgruppen aufgrund linearer Abhängigkeiten scheint mir nur dann sinnvoll, wenn eine enge Beziehung zwischen den Variablen y und x_i besteht. Sinkt der Korrelations-

koeffizient r unter den Wert 0.8, wird eine Trennung bzw. Zusammenfassung mit Hilfe des mittleren Fehlers s_* der Regressionswerte fallen gelassen.

Für unser Beispiel liegen die Korrelationskoeffizienten r zwischen 0.88 und 0.95 (vgl. Tab. 10.1); die Regressionsanalyse kann also weitergeführt werden.

Auswahl der signifikanten Ausgangsvariablen

Nachdem nun feststeht, dass ein enger Zusammenhang zwischen den Variablen y und x_i , also zwischen der Temperaturabweichung auf dem Säntis und den Faktoren besteht, müssen die signifikanten Ausgangsvariablen ausgewählt werden. Die Prüfung der Korrelations- bzw. der Regressionskoeffizienten geschieht wiederum mit Hilfe der F-Verteilung (Signifikanzzahl $p = 0.001$) bzw. der t-Verteilung (Signifikanzzahl $p = 0.01$). Eine zusätzlich in die Regressionsgleichung aufgenommene Variable soll eine signifikante Resultatsverbesserung bewirken, d.h. durch Miteinbezug dieser Variablen soll der mittlere Fehler s_* der Regressionswerte um den Mindestbetrag von 0.1 verbessert werden.

Eine optimale Auswahl der unabhängigen Variablen geschieht mittels einer schrittweisen Regressionsanalyse. Nacheinander werden, unter Beibehaltung der abhängigen Variablen y (ΔT), verschiedene unabhängige Variablen x_i (modifizierte Alpenwetterstatistikvariablen) in das Programm aufgenommen. Es werden so viele Zyklen durchlaufen, bis das Resultat nicht mehr signifikant ändert.

Die modifizierten Alpenwetterstatistikvariablen sind vorgängig standardisiert worden (vgl. Abschnitt 9). Sie sind somit untereinander vergleichbar und ihre Regressionskoeffizienten liegen in der gleichen Grössenordnung.

Tab. 10.2 Höhenstromlagen der Periode 1955 – 1968:
Teilergebnisse einer schrittweisen Regressionsanalyse unter Verwendung der Temperaturabweichung auf dem Säntis (abhängige Variable) und der modifizierten Alpenwetterstatistikvariablen (unabhängige Variablen).
Zum Vergleich sind die entsprechenden Werte aus der Tab. 10.1 mitaufgeführt.

d	Strömungsrichtung			r	Korrelationskoeffizient	
n	Anzahl Tage			s _*	mittlerer Fehler der Regressionswerte (°C)	
x _i	miteinbezogene Variablen (standardisiert)					
Alpenwetterstatistikvariablen				Faktoren		
d	n	x _i	r	s _*	r	s _*
6	355	Δrn	0.93	1.29	0.93	1.3
−7	306	Δrn	0.93	1.33	0.93	1.3
+7	155	Δrn	0.90	1.43	0.91	1.3
8	63	Δrn, rn−rn _v	0.92	1.40	0.88	1.7
−1	57	Δrn, rn−rn _v	0.93	1.47	0.89	1.7
+1	65	Δrn, rn−rn _v	0.94	1.40	0.95	1.2
2	32	Δrn, Δhh	0.89	1.29	0.88	1.3
−3	39	Δrn, Δhh	0.94	1.10	0.95	0.9
+3	42	Δrn, Δhh	0.94	1.06	0.93	1.1
4	66	Δrn, Δhh	0.94	1.12	0.94	1.1
−5	180	Δrn, Δhh	0.94	1.24	0.93	1.3
+5	409	Δrn, Δhh	0.93	1.27	0.92	1.3

Ein enger linearer Zusammenhang besteht vor allem zwischen der Temperatur ΔT und der rel. Topographie Δrn . Bei den Strömungsrichtungen 8 (N) bis +5 (WSW) kann durch Miteinbezug der täglichen Änderung der rel. Topographie $rn-rn_v$ bzw. der abs. Topographie Δhh eine Resultatsverbesserung erreicht werden.

Die rel. Topographie 1000/500 mb ist ein Mass für den Wärmegehalt der Luftschicht zwischen der 1000-mb und der 500-mb-Fläche. Die Station Säntis, als freie Voralpengipfelstation, liegt etwa in der Mitte dieser Luftschicht und im allgemeinen oberhalb der Grundsicht, was eine hohe Korrelation zwischen der Temperatur dieser Station und der rel. Topographie 1000/500 mb begründet.

Aufgrund ihrer hohen Faktorenladungen haben wir den einzelnen Faktoren je eine Bedeutung zugeschrieben (vgl. Abschnitt 10.1). Durch die Faktorenanalyse wird jedoch die Varianz der einzelnen Variablen mehr oder weniger aufgespalten. Demzufolge können ansprechende Korrelationskoeffizienten, die in einer oder zwei Ausgangsvariablen begründet liegen, oft nur durch die Gesamtheit der Faktoren erzielt werden (vgl. Tab. 10.1). Eine Interpretation der Resultate mittels einzelner Faktoren führt zu Fehleinschätzungen. Wir müssen zu den Ausgangsvariablen zurückkehren.

Gruppenbildung mit Hilfe der Regressionssynthese

Durch das Auftreten verschiedener signifikanter Variablen ist eine Vorgruppierung bereits gegeben. In unserem Beispiel können also die folgenden Windgruppen vorgemerkt werden:

- Windgruppe: 6 / +7 (W . . . NNW), Variable Δr_n .
- Windgruppe: 8 / +1 (N . . . ENE), Variablen Δr_n und $r_n - r_{n_v}$.
- Windgruppe: 2 / +5 (E . . . WSW), Variablen Δr_n und Δh_h .

Innerhalb dieser Windgruppen werden Regressionssynthesen durchgeführt. Die hergeleiteten Regressionsgleichungen werden auf die Nachbarsektoren angewendet, d.h. es wird versucht, die Temperatur mit Hilfe der Gleichungen der Nachbarsektoren zu berechnen. Die daraus resultierenden mittleren Fehler s_* der Regressionswerte werden mit den ursprünglichen s_* (vgl. Tab. 10.2, Alpenwetterstatistikvariablen) verglichen. Übersteigen die Differenzen den Wert 0.1 (Toleranzwert), werden die entsprechenden Windsektoren getrennt, andernfalls zusammengefasst. Im letzteren Fall wird eine neue, gemeinsame Regressionsgleichung bestimmt.

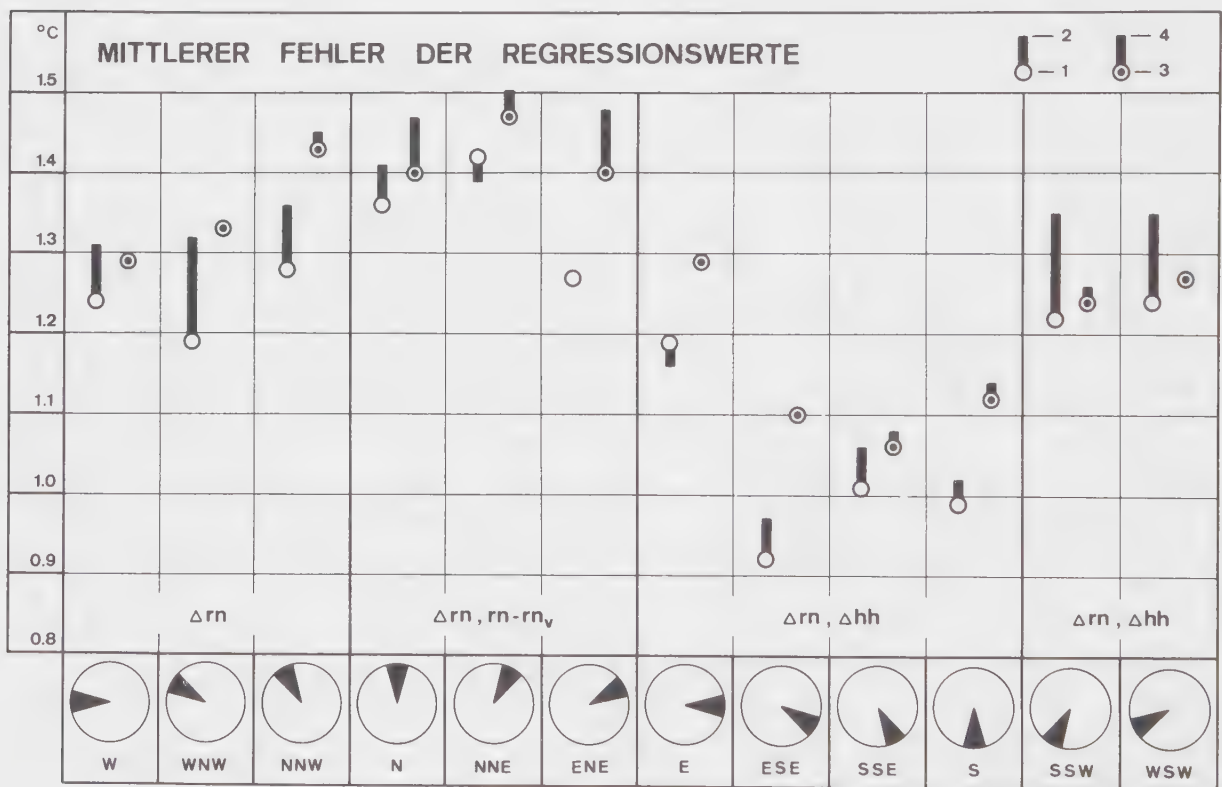


Abb. 10.1 Höhenstromlagen der Periode 1955 – 1968:
Vergleich der mittleren Fehler s_* der Regressionswerte der verschiedenen Teilschritte unter Verwendung der Temperaturabweichung auf dem Säntis (abhängige Variable).

Signaturen:

- 1 Unabhängige Variablen (nicht gesichert): Die für die Faktorenanalyse verwendeten modifizierten Alpenwetterstatistikvariablen. Regressionsanalyse je Windsektor.
- 2 Unabhängige Variablen (nicht gesichert): Die Faktoren $F_1 \dots F_5$. Regressionsanalyse je Windsektor. Die Fahne zwischen 1 und 2 zeigt den Informationsverlust bei Verwendung der fünf Faktoren.

- 3 Unabhängige Variablen (gesichert): Die in der Abbildung angegebenen modifizierten Alpenwetterstatistikvariablen. Regressionsanalyse je Windsektor.
- 4 Unabhängige Variablen (gesichert): Die in der Abbildung angegebenen modifizierten Alpenwetterstatistikvariablen. Regressionsanalyse je Windsektorgruppe (s. Abb.). Regressionssynthese je Windsektor.
- Die Fahne zwischen 3 und 4 zeigt die Verschlechterung des mittleren Fehlers s_* bei Verwendung der gemeinsamen Regressionsgleichung.

Die definitiven Windgruppen mit den entsprechenden Regressionsgrössen, die mit Hilfe dieses Trennkriteriums zusammengefasst werden können, sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tab. 10.3 Höhenstromlagen der Periode 1955 – 1968:
Regressionsgrössen bei Verwendung der Temperaturabweichung auf dem Säntis (abhängige Variable) und der modifizierten Alpenwetterstatistikvariablen (unabhängige Variablen).

d	Strömungsrichtung	t	t-Wert
n	Anzahl Tage	r	Korrelationskoeffizient
x_i	miteinbezogene Variablen (standardisiert)	F	F-Wert
a	Regressionskonstante	s_*	mittlerer Fehler der Regressionswerte ($^{\circ}\text{C}$)
b_i	Regressionskoeffizient		

Die Regressionskoeffizienten (aufgrund des t-Wertes) sowie die Korrelationskoeffizienten (aufgrund des F-Wertes) sind bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0.001$ signifikant von Null verschieden.

d	n	x_i	a	b_i	t	r	F	s_*
6 / +7	816	Δr_n	-0.1	3.9	67.9	0.92	4612.4	1.34
8 / +1	185	Δr_n	1.0	4.4	32.5	0.92	538.1	1.46
		$r_n - r_{n_v}$		-1.1	-7.7			
2 / 4	179	Δr_n	1.0	2.8	17.2	0.94	629.3	1.12
		Δh_h		1.2	10.0			
-5 / +5	589	Δr_n	0.4	3.4	29.2	0.93	1948.1	1.27
		Δh_h		0.7	7.1			

Um die Unterschiede der mittleren Fehler s_* der Regressionswerte bei Verwendung verschiedener Regressionsgleichungen zu illustrieren, werden für die beiden Windsektoren 8 (N) und +1 (ENE) die Temperaturabweichungen für die Station Säntis mittels der Gleichungen der Nachbargruppen

$$\begin{aligned} 6 / +7 : \quad \Delta T &= -0.1 + 3.9 \cdot \Delta r_n & \text{und} \\ 2 / 4 : \quad \Delta T &= 1.0 + 2.8 \cdot \Delta r_n + 1.2 \cdot \Delta h_h \end{aligned}$$

berechnet. Die mittleren Fehler s_* , die bei Verwendung der eigenen Gleichung (8 / +1) resultieren, sind in Klammern gesetzt.

Regressionsgleichung	Windsektor 8 (N) s_* ($^{\circ}\text{C}$)	Windsektor +1 (ENE) s_* ($^{\circ}\text{C}$)
6 / +7	1.71 (1.47)	2.15 (1.48)
2 / 4	2.34 (1.47)	1.66 (1.48)

Die mittleren Fehler s_* werden bei Verwendung der Gleichung einer Nachbargruppe mit zunehmender Abweichung der Windsektoren von der entsprechenden Windgruppe grösser. Eine gute Temperaturbestimmung verlangt also verschiedene Regressionsgleichungen.

Bei Höhenströmung kann mit Hilfe der in Tab. 10.3 aufgeführten Regressionsgrössen die Temperaturabweichung für die Station Säntis berechnet und somit das Tagesmittel (Dreiermittel) der Temperatur bestimmt werden.

Beispiel einer Temperaturprognose für die Station Säntis

Ausgangsdatum 24. Oktober	
Prognose für den 26. Oktober: (Prognosenkarten)	Höhenstromlage mit Strömungsrichtung NW, rel. Topographie $r_n = 5550$ gpm.
Regressionsgleichung (vgl. Tab. 10.3):	$\Delta T = -0.1 + 3.9 \cdot \Delta r_n$
Pentadenmittel der 60. Pentade (vgl. Tab. 8.2):	$r_{np} = 5488$ gpm
Abweichung der rel. Topographie:	$\Delta r_n = r_n - r_{np} = 5550 - 5488 = 62$ gpm
Standardisierte Abweichung (vgl. Tab. 9.4):	$\Delta r_n = \frac{\Delta r_n}{s_{\Delta r_n}} = \frac{62}{79.7} = 0.8$

Diese standardisierte rel. Topographie ($\Delta r_n = 0.8$) wird in die obige Gleichung eingesetzt:

$$\Delta T = -0.1 + 3.9 \cdot 0.8 = 3.0^\circ\text{C}$$

Mit Hilfe des Pentadenmittels der Temperatur T_p (vgl. Tab. 8.4) und der berechneten Temperaturabweichung ΔT lässt sich das Tagesmittel der Temperatur wie folgt bestimmen:

$$T = T_p + \Delta T = -1.1 + 3.0 = 1.9^\circ\text{C}$$

10.3. Bemerkungen zum Trennkriterium

Wie wir gesehen haben, fallen die berechneten Temperaturabweichungen, je nach der Gleichung die wir verwenden, recht unterschiedlich aus. Die mittleren Fehler s_* der Regressionswerte benachbarter Windsektoren weichen jedoch oft nur wenig voneinander ab. Der für dieses Trennkriterium festgelegte Toleranzwert darf deshalb nicht unbesehen angewendet, sondern soll vielmehr als Richtwert betrachtet werden.

Mit Hilfe der Variablen der Alpenwetterstatistik, die wir den Prognosenkarten entnehmen, und den vorliegenden Regressionsgleichungen ist es möglich, das Tagesmittel der Temperatur zu prognostizieren.

Eine enge lineare Beziehung besteht vor allem zwischen der rel. Topographie 1000/500 mb und der Temperatur der Stationen Säntis und Davos. Die Temperaturwerte der Stationen Zürich, Genf und Lugano können mit diesem Kriterium weniger gut erfasst werden. Trotzdem sind für sämtliche Windgruppen Regressionsanalysen durchgeführt und die Regressionsgrößen für die einzelnen Wetterlagen tabelliert worden.

Wird das gleiche Verfahren auf die Sonnenscheindauer angewendet, ergeben sich Korrelationskoeffizienten, die im Mittel bei 0.5 liegen. Eine Bestimmung der Sonnenscheindauer mit Hilfe der gegebenen Alpenwetterstatistikvariablen kommt somit nicht in Frage. Dasselbe gilt für den Niederschlag.

11. Trennung aufgrund klimatologischer Abweichungen

Die Aufeinanderfolge von Hoch- und Tiefdruckgebieten führt zu einer Wechselhaftigkeit im Wettergeschehen. Je nach Richtung der Luftströmung ist der Wetterablauf in den verschiedenen Regionen unterschiedlich. Die Mannigfaltigkeit im Wettergeschehen zwingt uns zu einer Zusammenfassung ähnlicher Wetterlagen. Eine Systematisierung ist notwendig sowohl für die Wettervorhersage als auch für klimatologische Betrachtungen.

In der klimatologischen Darstellung nimmt die Häufigkeitsverteilung der zu betrachtenden Elemente einen wichtigen Platz ein. Zur Kennzeichnung der Häufigkeitsverteilung dienen u.a. der Mittelwert und die Standardabweichung.

In der Folge werden für die einzelnen Strömungsrichtungen klimatologische Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet und mit Hilfe der Mittelwertsdifferenzen benachbarte Strömungsrichtungen getrennt bzw. zusammengefasst.

Der Wetterzustand ist durch das Zusammenwirken verschiedener Wetterelemente gekennzeichnet. Deshalb dürfen auch hier die festgelegten Grenzwerte nicht unbesehen angewendet, sondern sollen vielmehr als Richtwerte betrachtet werden.

Temperaturabweichung

Der Mittelwert $\overline{\Delta T}$ der Temperaturabweichung ist ein Mass für die Anomalie der Tagestemperatur in Grad Celsius. Weichen die Mittelwerte $\overline{\Delta T}$ benachbarter Strömungsrichtungen um mehr als zwei Grad Celsius (Grenzwert) voneinander ab, werden die Strömungsrichtungen getrennt.

Abweichung der Sonnenscheindauer

Der Mittelwert $\overline{\Delta S}$ der Abweichung der Sonnenscheindauer ist ein Mass für die Anomalie der Sonnenscheindauer in Stunden.

Weichen die Mittelwerte $\overline{\Delta S}$ benachbarter Strömungsrichtungen um mehr als zwei Stunden (Grenzwert) voneinander ab, werden die Strömungsrichtungen getrennt.

Niederschlagsbereitschaft

Die Niederschlagsbereitschaft wird als Prozentanteil der Tage mit mindestens einem Millimeter (Niederschlagsbereitschaft R1) bzw. zehn Millimeter (Niederschlagsbereitschaft R10) Tagessumme an der Gesamtzahl der Wetterlagentage berechnet.

Für jede einzelne Strömungsrichtung wird die Niederschlagsbereitschaft R1 und R10 berechnet und hernach die Bereitschaftssumme $R1 + R10$ gebildet. Weichen die Bereitschaftssummen benachbarter Strömungsrichtungen um mehr als vierzig Prozent (Grenzwert) voneinander ab, werden die Strömungsrichtungen getrennt.

Kombiniertes Trennmass

Erreichen mindestens zwei Variablen ihren halben Grenzwert ($\overline{\Delta T} = 1^\circ\text{C}$, $\overline{\Delta S} = 1 \text{ h}$, $R1 + R10 = 20\%$), werden die benachbarten Strömungsrichtungen getrennt, andernfalls zusammengefasst.

V. Klassifikation der Wetterlagen

12. Strömungslagen

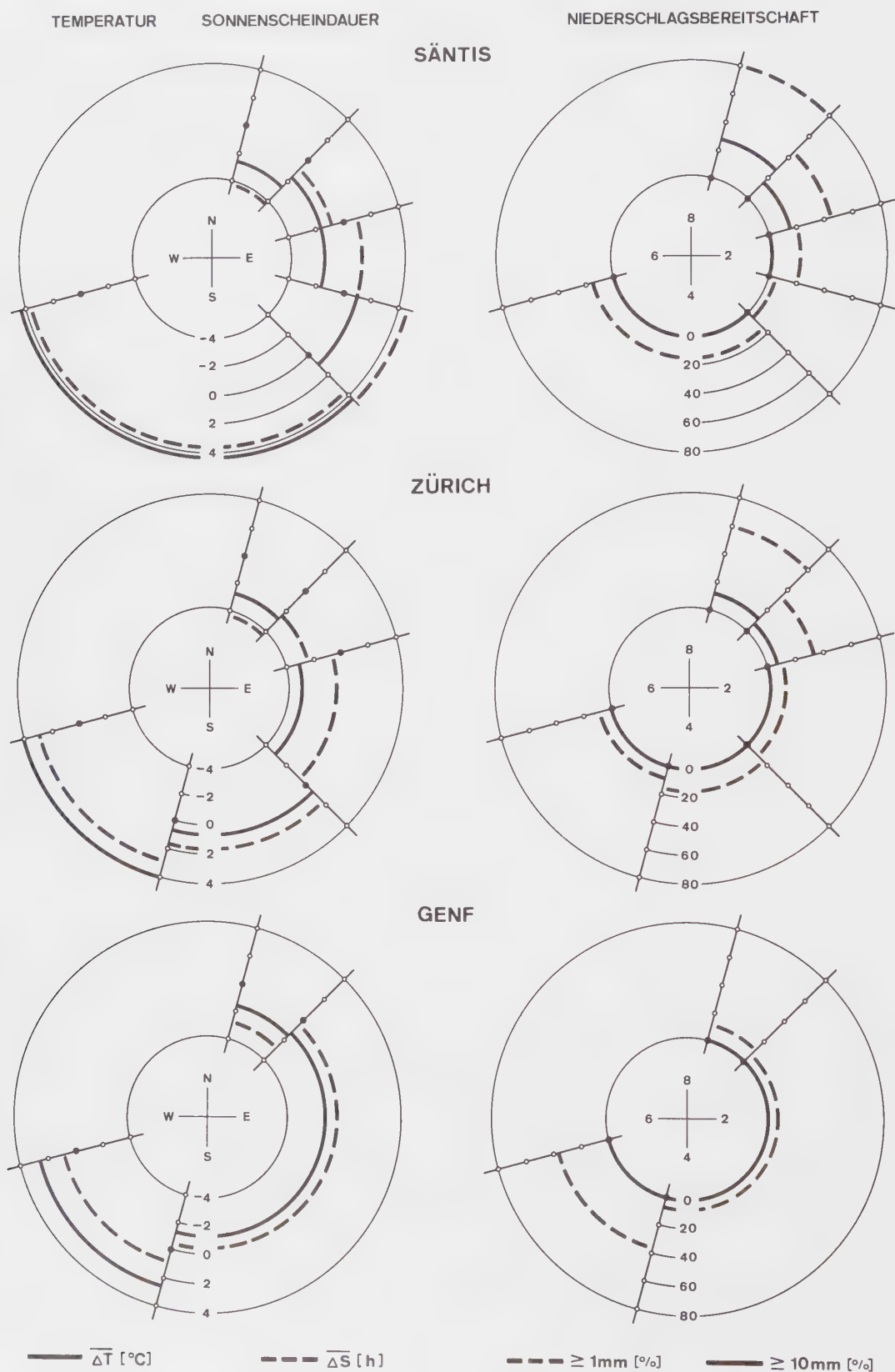
Mit Bezug auf die Variablen der Alpenwetterstatistik werden bestimmte Wetterelemente ausgewählter Stationen untersucht und hernach ähnliche Strömungsfelder zu Wetterlagen zusammengefasst.

Die Gesamtkonzeption kommt bei der Darstellung der einzelnen Wetterlagen insofern zum Ausdruck, als die Stationsvariablen Temperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlag mit den Strömungsrichtungen kombiniert, d.h. durch modifizierte Windrosen dargestellt werden.

Die klimatologischen Werte der Wetterlagen sind jeweils in Tabelle a, die Regressionsgrössen der Strömungslagen in Tabelle b zusammengestellt. Die Windgruppen in den beiden Tabellen sind nicht immer identisch, nämlich dann nicht, wenn eine Regressionsgleichung für mehr als eine Wetterlage Gültigkeit hat.

12.1. Bodenstromlagen

Die Bodenstromlagen sind mit fünf Prozent des Untersuchungstotalts schwach vertreten. Bei einem leichten Häufigkeitsmaximum im Frühling ist deren jahreszeitliche Gliederung annähernd ausgeglichen. Demgegenüber sind die einzelnen Strömungsrichtungen am Bodenstromlagentotal recht unterschiedlich beteiligt. Ausgesprochen gut vertreten sind die Strömungsrichtungen NNE bis ESE, wogegen die Strömungsrichtungen W bis N infolge ihrer zu kleinen Gruppengrösse für eine statistische Untersuchung ausser Betracht fallen.



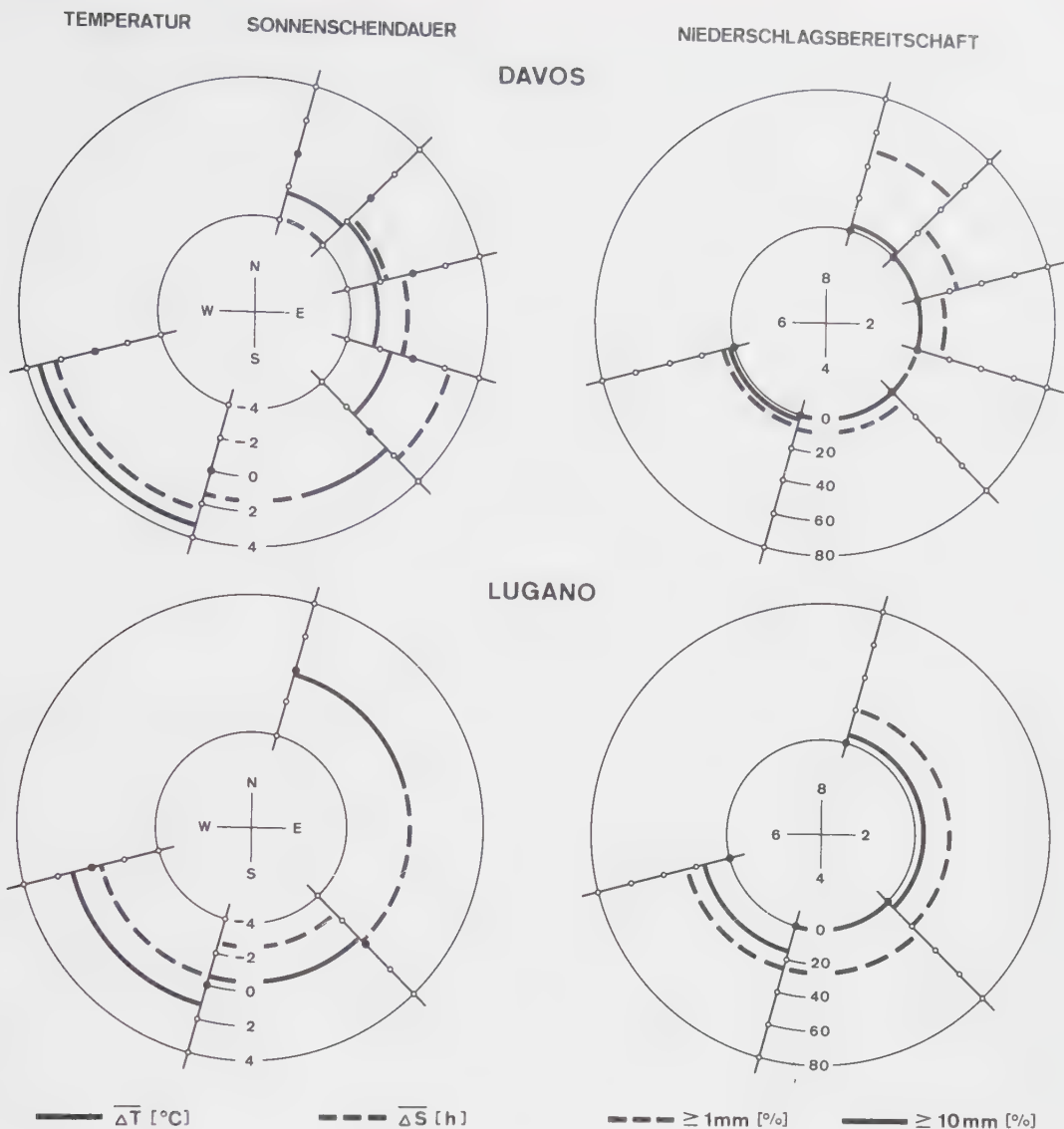


Abb. 12.1 Wetterlagen mit Bodenströmung der Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano. Die Windrosen links enthalten zusätzlich zur Richtung der Bodenströmung die Mittelwerte der Temperaturabweichung $\overline{\Delta T}$ bzw. der Abweichung der Sonnenscheindauer $\overline{\Delta S}$, diejenigen rechts die Niederschlagsbereitschaft R_1 ($\geq 1\text{ mm}$) und R_{10} ($\geq 10\text{ mm}$). Infolge ihrer zu kleinen Gruppengrösse sind die Windsektoren W bis N nicht untersucht worden.

Die Ostströmungen bewirken auf der Alpennordseite eine Temperaturabnahme. Mit Änderung der Strömungsrichtung wird es zusehends wärmer. Die Südwestlagen zeichnen sich sowohl auf der Alpennord- als auch auf der Alpensüdseite durch stark übernormale Temperaturen aus.

Die Nordnordostlagen sind auf der Alpennordseite ausgesprochen sonnenarm. Eine Richtungsänderung auf ESE hat auf dem Säntis und in Davos Höchstwerte der Sonnenscheindauer zur Folge. Mit Ausnahme der Stationen Genf und Lugano haben die Südwestlagen überdurchschnittlich viel Sonne.

Im Gegensatz zu der Station Genf ist die Niederschlagsbereitschaft bei den Stationen Säntis, Zürich und Davos bei der Strömungsrichtung NNE am grössten, doch auch bei diesen Stationen sind die Niederschlagsmengen im allgemeinen gering.

Tab. 12.1a Wetterlagen mit Bodenströmung:
 Klimatologische Werte der Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano.
 Untersuchungsperiode: 1955 – 1968.

D	Strömungsrichtung	$\overline{\Delta S}$	Mittelwert der Abweichung der Sonnenscheindauer ΔS (h)
n	Anzahl Tage	$s\Delta S$	Standardabweichung (h)
$\overline{\Delta T}$	Mittelwert der Temperaturabweichung ΔT (°C)	R1	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 1 mm (%)
$s\Delta T$	Standardabweichung (°C)	R10	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 10 mm (%)

Säntis

D	n	$\overline{\Delta T}$	$s\Delta T$	$\overline{\Delta S}$	$s\Delta S$	R1	R10
–1	33	–2.6	2.6	–4.2	2.6	78.8	27.3
+1	57	–1.8	3.6	–0.9	4.5	43.9	15.8
2	79	–1.7	4.7	1.0	4.6	19.0	1.3
–3	29	0.9	3.3	4.6	1.5	3.4	3.4
+3 / +5	56	4.4	2.7	3.8	2.8	16.1	1.8

Zürich

–1	33	–2.7	2.3	–4.3	2.7	60.6	12.1
+1	57	–2.2	2.6	–2.2	3.4	33.3	7.0
2 / –3	108	–3.1	3.4	–0.6	3.2	9.3	0.9
+3 / 4	24	0.7	4.2	1.8	3.4	16.7	0.0
–5 / +5	32	4.1	2.9	2.9	3.6	9.4	0.0

Genf

–1	33	–1.5	1.9	–2.8	4.0	12.1	0.0
+1 / 4	189	–1.3	3.0	–0.4	3.1	6.9	0.5
–5 / +5	32	2.6	2.5	0.8	3.7	37.5	0.0

Davos

–1	33	–2.2	2.7	–3.9	1.8	48.5	3.0
+1	57	–1.9	3.0	–1.7	3.2	24.6	0.0
2	79	–2.3	3.9	–0.6	3.5	15.2	0.0
–3	29	–1.4	3.5	2.2	2.0	0.0	0.0
+3 / 4	24	1.4	2.9	1.4	2.1	8.3	0.0
–5 / +5	32	3.2	2.4	2.2	2.9	6.2	3.1

Lugano

–1 / –3	198	–0.2	2.5	–0.2	3.7	20.3	5.1
+3 / 4	24	–0.5	1.8	–2.6	3.0	25.0	0.0
–5 / +5	32	1.2	2.4	–0.4	3.9	25.0	15.6

Tab. 12.1b Bodenstromlagen der Periode 1955 – 1968:

Regressionsgrößen bei Verwendung der Temperaturabweichung (abhängige Variable) der Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano.

D	Strömungsrichtung	t	t-Wert
n	Anzahl Tage	r	Korrelationskoeffizient
x_i	miteinbezogene unabhängige Variablen (standardisiert)	F	F-Wert
a	Regressionskonstante	s_*	mittlerer Fehler der Regressionswerte (°C)
b_i	Regressionskoeffizient		

Die Regressionskoeffizienten (aufgrund des t-Wertes) sowie die Korrelationskoeffizienten (aufgrund des F-Wertes) sind bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0.001$ (⁰¹ $p < 0.01$; ⁰⁵ $p < 0.05$) signifikant von Null verschieden.

Säntis

D	n	x_i	a	b_i	t	r	F	s_*
–1	33	Δrn	–0.9	3.8	11.5	0.90	132.2	1.2
+1	57	Δrn	–0.3	3.9	15.0	0.90	224.6	1.6
2	79	Δrn	0.9	4.5	25.7	0.95	658.6	1.5
–3	29	Δrn	1.8	3.9	11.1	0.91	124.0	1.4
+3 / +5	56	Δrn	1.1	3.6	12.8	0.87	164.7	1.3

Zürich

–1	33	Δrn	–1.5	2.7	5.7	0.72	33.0	1.6
+1	57	Δrn	–1.5	1.8	5.4	0.59	28.7	2.1
2 / –3	108	Δrn	–1.9	2.5	9.9	0.69	97.2	2.4
+3 / 4	24	Δrn	–2.3	4.9	4.5	0.69	20.0	3.1
–5 / +5	32	Δrn	1.0	2.7 ⁰¹	3.4	0.53	11.8	2.5

Genf

–1 / 4	222	Δrn	–0.7	2.0	12.5	0.64	155.3	2.2
–5 / +5	32	Δrn	0.6	1.7 ⁰⁵	2.4	0.41 ⁰⁵	6.0	2.3

Davos

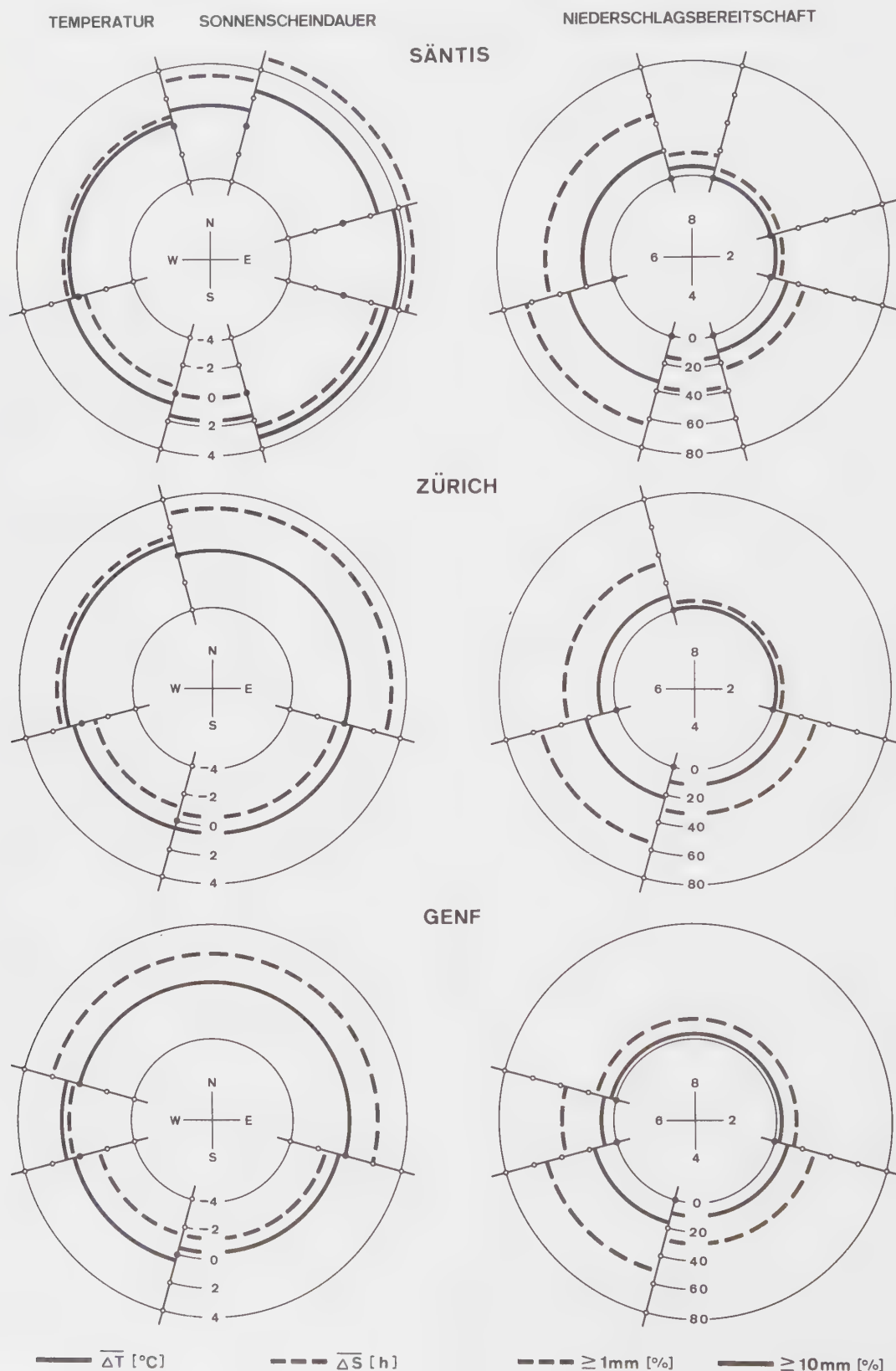
–1	33	Δrn	–0.6	3.6	7.4	0.80	54.4	1.7
+1	57	Δrn	–0.8	2.8	8.9	0.77	79.0	1.9
2	79	Δrn	–0.4	5.1	12.4	0.91	84.0	1.7
		$rn - rn_v$		–1.6	–4.7			
		Δhh		–1.7	–4.5			
		$hh - hh_v$		1.4	4.5			
–3	29	Δrn	–0.6	3.9	9.0	0.87	80.9	1.8
+3 / 4	24	Δrn	–1.1	4.0	6.6	0.81	43.1	1.7
–5 / +5	32	Δrn	–0.2	3.0	5.8	0.73	34.0	1.7

Lugano

–1 / –3	198	Δrs	0.4	1.7	12.4	0.66	154.9	1.9
+3 / 4	24	Δrs	–0.7	1.7	4.5	0.69	19.8	1.4
–5 / +5	32	Δrs	0.1	2.3	5.1	0.68	26.4	1.7

12.2. Höhenstromlagen

Die Zahl der Tage mit Höhenströmung beträgt etwa ein Drittel des Untersuchungstotals. Damit steht diese Strömungslage häufigkeitsmässig an zweiter Stelle. Ihr jahreszeitliches Häufigkeitsmaximum, hervorgerufen durch die beiden Strömungsrichtungen WSW und W, liegt im Sommer. Der Winter steht deutlich hinter den übrigen Jahreszeiten zurück. Die einzelnen Strömungsrichtungen weisen recht unterschiedliche Gruppengrössen auf. Die Strömungsrichtungen SSW bis NNW heben sich mit vier Fünftel des Höhenstromlagentotals deutlich von den übrigen Strömungsrichtungen ab.



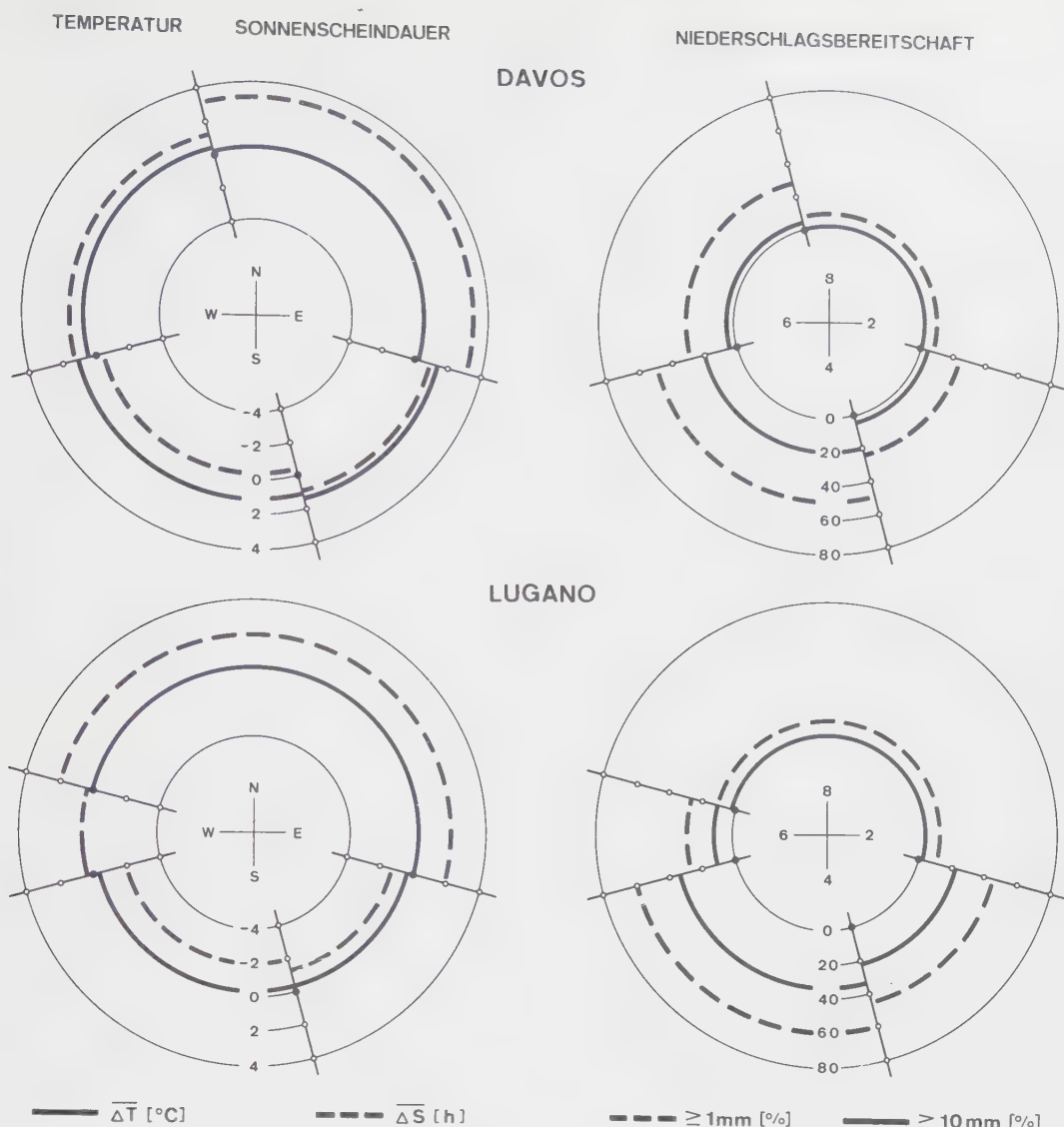


Abb. 12.2 Wetterlagen mit Höhenströmung der Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano. Die Windrosen links enthalten zusätzlich zur Richtung der Höhenströmung die Mittelwerte der Temperaturabweichung ΔT bzw. der Abweichung der Sonnenscheindauer ΔS , diejenigen rechts die Niederschlagsbereitschaft $R1$ ($\geq 1 \text{ mm}$) und $R10$ ($\geq 10 \text{ mm}$).

Bei den Höhenstromlagen sind die Temperaturen im allgemeinen ausgeglichen und erreichen etwa ihre Normalwerte. Einzig auf dem Säntis zeigen sich merkliche Unterschiede, wo die nord- bis südöstlichen Winde eine deutliche Erwärmung bewirken.

Die Höhenstromlagen N bis E sind vor allem für die Stationen Säntis, Zürich und Davos überdurchschnittlich sonnig. Mit der Strömungsrichtungsänderung von E auf ESE ist für die Stationen Zürich, Genf und Lugano eine starke Abnahme der Sonnenscheindauer verbunden. Die beiden Höhenstationen Säntis und Davos erreichen hingegen auch bei den Südostlagen übernormale Werte.

Die Wetterlagen mit Strömungsrichtungen N bis E, für die Stationen Genf und Lugano zusätzlich NW, sind ausgesprochen niederschlagsarm. Die Südwestlagen verhalten sich umgekehrt. Diese Wetterlagen weisen eine hohe Niederschlagsbereitschaft auf, wobei besonders auf dem Säntis und in Lugano bedeutende Niederschlagsmengen erreicht werden.

Tab. 12.2a Wetterlagen mit Höhenströmung:
Klimatologische Werte der Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano.
Untersuchungsperiode: 1955 – 1968.

d	Strömungsrichtung	$\overline{\Delta S}$	Mittelwert der Abweichung der Sonnenscheindauer ΔS (h)
n	Anzahl Tage	$s\Delta S$	Standardabweichung (h)
$\overline{\Delta T}$	Mittelwert der Temperaturabweichung ΔT (°C)	R1	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 1 mm (%)
$s\Delta T$	Standardabweichung (°C)	R10	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 10 mm (%)

Säntis

d	n	$\overline{\Delta T}$	$s\Delta T$	$\overline{\Delta S}$	$s\Delta S$	R1	R10
6 / +7	816	0.2	3.5	0.6	4.5	46.9	19.6
8	63	1.1	3.5	3.2	4.3	17.4	6.3
-1 / +1	122	2.5	3.9	4.8	2.8	5.7	0.8
2	32	3.7	2.8	4.5	1.9	6.2	3.1
-3 / +3	81	3.2	3.1	2.4	3.9	24.6	12.3
4	66	1.6	3.2	0.1	4.2	37.8	13.6
-5 / +5	589	0.8	3.5	-0.4	4.3	63.7	34.3

Zürich

6 / +7	816	0.8	3.2	1.3	3.6	34.3	9.8
8 / 2	217	0.0	3.4	2.9	3.5	3.7	0.0
-3 / 4	147	0.5	3.4	-0.6	3.6	29.2	8.8
-5 / +5	589	0.4	3.0	-1.0	3.9	55.2	21.2

Genf

6	355	0.9	3.0	0.4	3.6	36.3	7.6
-7 / 2	678	0.0	2.9	2.0	3.2	13.0	2.7
-3 / 4	147	-0.3	2.8	-1.4	3.6	27.9	9.5
-5 / +5	589	0.3	2.8	-1.4	3.8	50.5	16.5

Davos

6 / +7	816	0.4	3.2	1.2	3.4	27.6	4.4
8 / 2	217	0.2	3.2	3.1	2.3	7.4	0.5
-3 / +3	81	1.4	2.8	1.0	3.2	23.4	4.9
4 / +5	655	1.1	3.1	-0.4	3.4	49.8	18.8

Lugano

6	355	0.3	2.3	0.2	3.4	27.3	9.6
-7 / 2	678	0.0	2.1	2.0	2.9	10.3	1.9
-3 / +3	81	-0.3	3.0	-1.3	3.8	44.5	21.0
4 / +5	655	-0.2	2.5	-2.1	3.6	58.6	32.5

Tab. 12.2b Höhenstromlagen der Periode 1955 – 1968:
Regressionsgrössen bei Verwendung der Temperaturabweichung (abhängige Variable) der Stationen
Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano.

d	Strömungsrichtung	t	t-Wert
n	Anzahl Tage	r	Korrelationskoeffizient
x_i	miteinbezogene unabhängige Variablen (standardisiert)	F	F-Wert
a	Regressionskonstante	s_*	mittlerer Fehler der Regressionswerte (°C)
b_i	Regressionskoeffizient		

Die Regressionskoeffizienten (aufgrund des t-Wertes) sowie die Korrelationskoeffizienten (aufgrund des F-Wertes) sind bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0.001$ signifikant von Null verschieden.

Säntis

d	n	x_i	a	b_i	t	r	F	s_*
6 / +7	816	Δrn	−0.1	3.9	67.9	0.92	4612.4	1.3
8 / +1	185	Δrn	1.0	4.4	32.5	0.92	538.1	1.5
		$rn - rn_v$		−1.1	−7.7			
2 / 4	179	Δrn	1.0	2.8	17.2	0.94	629.3	1.1
		Δhh		1.2	10.0			
−5 / +5	589	Δrn	0.4	3.4	29.2	0.93	1948.1	1.3
		Δhh		0.7	7.1			

Zürich

6 / +7	816	Δrn	0.6	3.0	34.0	0.77	1157.0	2.0
8 / 2	217	Δrn	−0.9	2.4	9.4	0.54	87.7	2.9
−3 / 4	147	Δrn	−1.0	3.3	12.1	0.71	145.7	2.4
−5 / +5	589	Δrn	0.0	2.9	27.4	0.75	752.0	2.0

Genf

6	355	Δrn	0.7	2.7	19.7	0.72	388.6	2.1
−7 / 2	678	Δrn	−0.3	1.9	16.2	0.53	261.7	2.4
−3 / 4	147	Δrn	−1.3	2.3	9.2	0.61	84.6	2.2
−5 / +5	589	Δrn	−0.1	2.4	22.0	0.67	481.9	2.1

Davos

6 / +7	816	Δrn	0.2	3.2	41.3	0.82	1709.3	1.8
8 / 2	217	Δrn	−1.0	3.1	16.0	0.74	256.6	2.2
−3 / +3	81	Δrn	−0.3	3.1	11.0	0.78	120.0	1.8
4 / +5	655	Δrn	0.5	3.4	42.0	0.85	1763.7	1.6

Lugano

6	355	Δrs	−0.1	2.0	22.4	0.77	501.4	1.5
−7 / 2	678	Δrs	−0.1	1.5	21.9	0.64	478.7	1.6
−3 / +3	81	Δrs	−0.3	2.6	8.6	0.70	74.3	2.2
4 / +5	655	Δrs	−0.4	2.1	24.4	0.69	594.1	1.8

12.3. Strömungslagen mit Boden- und Höhenströmung

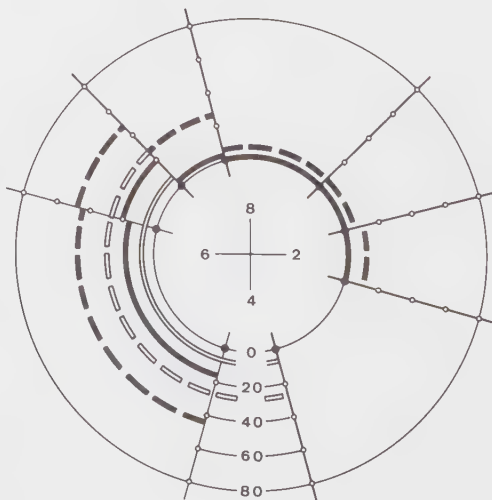
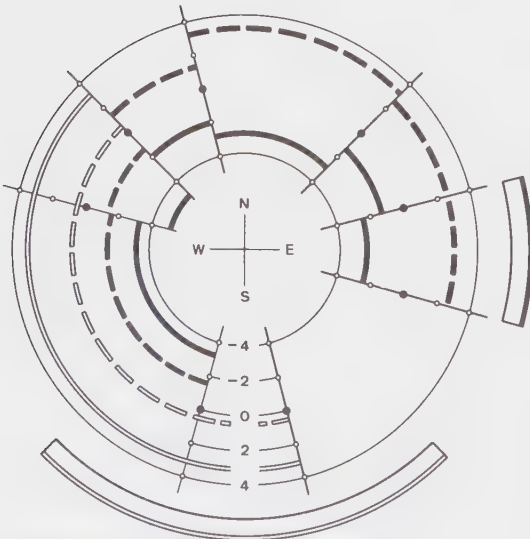
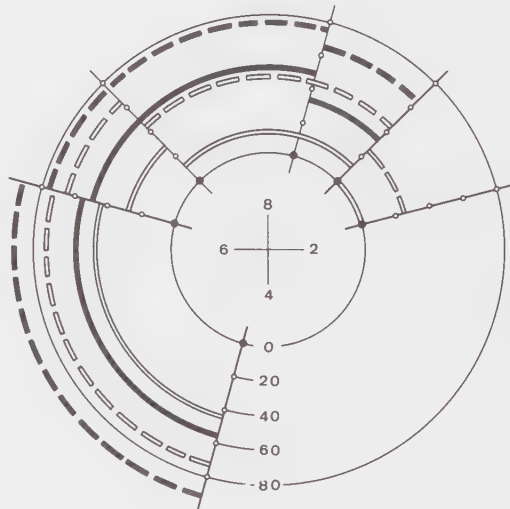
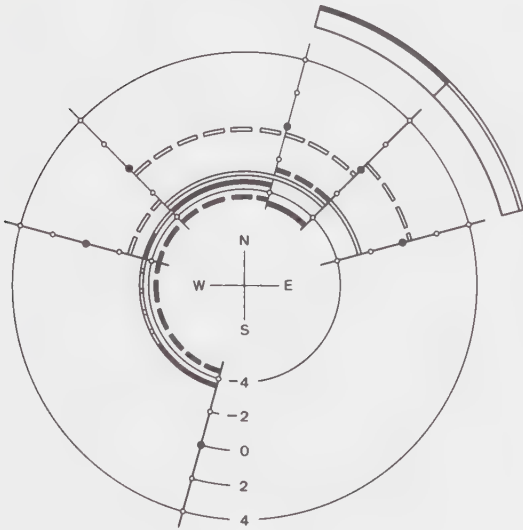
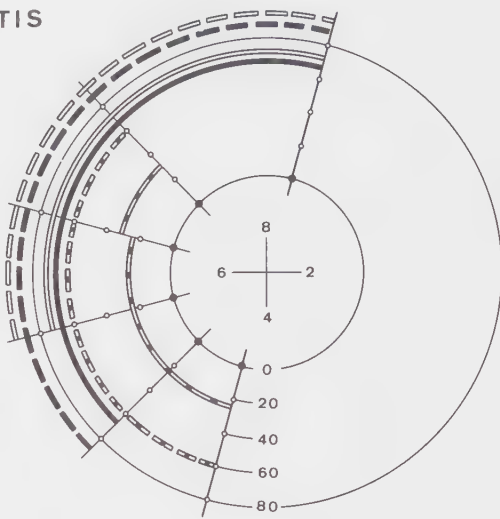
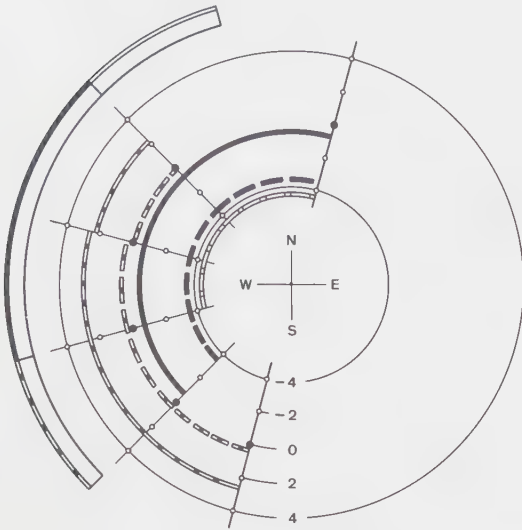
Annähernd die Hälfte des Untersuchungstotalts sind Tage mit Boden- und Höhenströmung. Die Kurve der jahreszeitlichen Häufigkeitsverteilung erreicht ihr Maximum im Winter. Mit gleichem Abstand folgen die Werte für die Jahreszeiten Frühling, Herbst und Sommer, wobei der letzte noch etwa dem halben Winterwert entspricht.

TEMPERATUR

SONNENSCHNEIDDAUER

NIEDERSCHLAGSBEREITSCHAFT

SÄNTIS



$\overline{\Delta T}$ [°C]

$\overline{\Delta S}$ [h]

$\geq 1\text{mm}$ [%]

$\geq 10\text{mm}$ [%]

Abb. 12.3 Wetterlagen mit Boden- und Höhenströmung der Station Säntis.
 Die Kreisringabschnitte ausserhalb der Windrosen zeigen die Richtung der Bodenströmung (nur in den Figuren links eingezeichnet). Die Darstellung der entsprechenden Höhenströmung geschieht mit Hilfe der Windrosen. Diejenigen links enthalten zusätzlich zur Richtung der Höhenströmung die Mittelwerte der Temperaturabweichung $\overline{\Delta T}$ bzw. der Abweichung der Sonnenscheindauer $\overline{\Delta S}$, diejenigen rechts die Niederschlagsbereitschaft R1 (≥ 1 mm) und R10 (≥ 10 mm). Die beiden Linienarten (dicke Linie, dünne Doppellinie) geben die Richtung der Bodenströmung an. Bei der Bodenströmung WSW sind diese beiden Linienarten kombiniert.
 Infolge ihrer zu kleinen Gruppengrösse sind die fehlenden Windsektoren nicht untersucht worden.

Mit Bezug auf die Bodenströmung sind die Westlagen ausgesprochen sonnenarm und zeigen eine hohe Niederschlagsbereitschaft mit ergiebigen Niederschlägen.
 Mit einer Strömungsänderung in Richtung Nord ist eine ausgeprägte Temperaturabnahme verbunden. Bei den Wetterlagen mit Strömungsrichtungen NNE und ENE zeigt die Niederschlagsbereitschaft eine Abhängigkeit bezüglich der Höhenwindrichtung.
 Die Ostlagen sind durchwegs kalt. Die nördlichen bis östlichen Höhenwinde bewirken eine überdurchschnittliche Sonnenscheindauer.
 Die Südlagen sind überdurchschnittlich warm. Eine Drehung der Bodenströmung in Richtung West hat ein deutliches Ansteigen der Niederschlagsbereitschaft zur Folge.

Tab. 12.3a Wetterlagen mit Boden- und Höhenströmung: Klimatologische Werte der Station Säntis.
 Untersuchungsperiode: 1955 – 1968.

D, d	Strömungsrichtung		$\overline{\Delta S}$	Mittelwert der Abweichung der Sonnenscheindauer ΔS (h)				
n	Anzahl Tage		$s\Delta S$	Standardabweichung (h)				
$\overline{\Delta T}$	Mittelwert der Temperaturabweichung ΔT (°C)		R1	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 1 mm (%)				
$s\Delta T$	Standardabweichung (°C)		R10	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 10 mm (%)				
D	d	n	$\overline{\Delta T}$	$s\Delta T$	$\overline{\Delta S}$	$s\Delta S$	R1	R10
6 / -7	+5 / 8	351	-0.6	4.0	-3.5	2.6	89.2	68.1
+7	6 / 8	88	-4.3	3.4	-4.3	1.7	94.3	72.7
-1	-5 / 6	60	-3.8	3.0	-4.3	2.5	91.6	58.3
-1	-7 / 8	163	-3.8	3.7	-4.1	2.2	77.9	44.8
-1	-1	23	-4.7	4.3	-3.2	3.3	65.2	34.8
+1	-5 / 6	97	-3.8	3.4	-3.8	2.9	74.3	42.3
+1	-7	70	-3.8	3.4	-2.6	3.5	61.5	28.6
+1	+7 / -1	215	-3.6	4.4	-0.3	4.1	41.4	12.6
+1	+1	36	-2.8	5.3	0.2	4.3	25.0	0.0
2	-5 / 6	66	-3.4	4.0	-1.7	4.1	44.0	18.2
2	-7	34	-5.1	4.2	-1.4	3.9	47.1	20.6
2	+7	32	-2.0	3.9	1.3	5.1	28.1	3.1
2	8 / -1	99	-2.8	4.6	3.1	3.5	7.1	0.0
2	+1	56	-1.3	4.8	2.6	3.7	3.6	1.8
2	2	20	-2.2	4.1	2.8	3.7	10.0	0.0
+3 / -5	4 / -7	339	3.2	3.0	0.5	3.5	25.1	6.5
+5	-5 / 6	247	2.6	3.2	0.3	3.8	59.1	24.3
+5	-7	35	2.4	3.5	-0.2	3.6	60.0	31.4

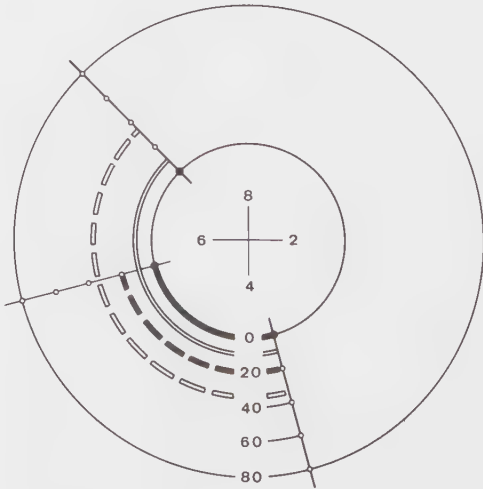
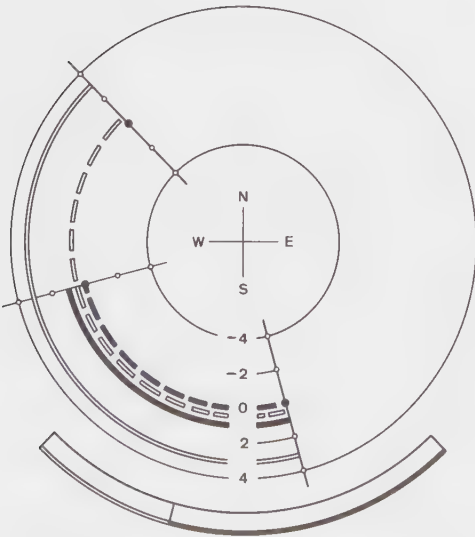
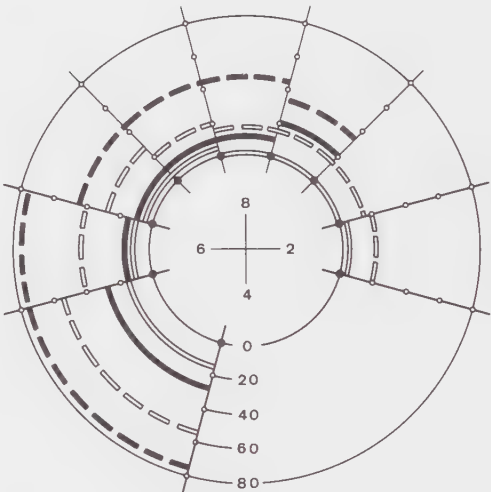
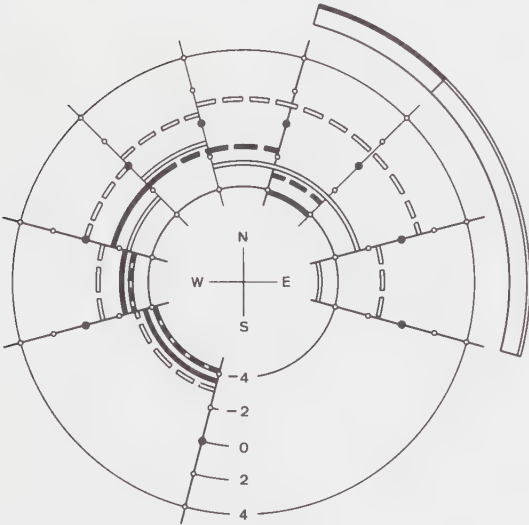
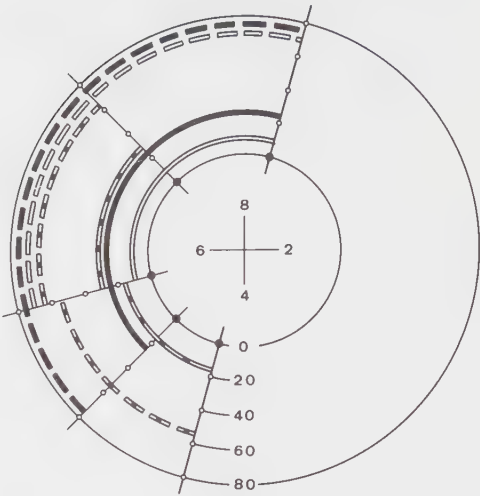
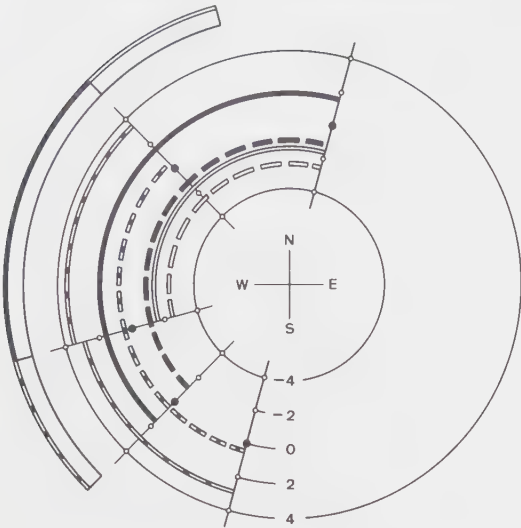
Abb. 12.4

ZÜRICH

TEMPERATUR

SONNENSCHENDAUER

NIEDERSCHLAGSBEREITSCHAFT



$\Delta T [^{\circ}C]$

$\Delta S [h]$

$\geq 1mm [\%]$

$\geq 10mm [\%]$

Abb. 12.4 Wetterlagen mit Boden- und Höhenströmung der Station Zürich.

Die Kreisringabschnitte ausserhalb der Windrosen zeigen die Richtung der Bodenströmung (nur in den Figuren links eingezeichnet). Die Darstellung der entsprechenden Höhenströmung geschieht mit Hilfe der Windrosen. Diejenigen links enthalten zusätzlich zur Richtung der Höhenströmung die Mittelwerte der Temperaturabweichung $\overline{\Delta T}$ bzw. der Abweichung der Sonnenscheindauer $\overline{\Delta S}$, diejenigen rechts die Niederschlagsbereitschaft $R1 (\geq 1 \text{ mm})$ und $R10 (\geq 10 \text{ mm})$. Die beiden Linienarten (dicke Linie, dünne Doppellinie) geben die Richtung der Bodenströmung an. Bei der Bodenströmung WSW sind diese beiden Linienarten kombiniert. Infolge ihrer zu kleinen Gruppengrösse sind die fehlenden Windsektoren nicht untersucht worden.

Mit Bezug auf die Bodenströmung zeigen die Westlagen eine hohe Niederschlagsbereitschaft, wobei überdurchschnittliche Niederschlagsmengen erreicht werden. Mit einer Strömungsänderung in Richtung Nord ist eine starke Abkühlung verbunden.

Die Wetterlagen mit Strömungsrichtung NNE sind kalt und sonnenarm. Die Gegenstromlagen zeichnen sich aus durch eine ansprechende Niederschlagstätigkeit. Eine Änderung der Bodenströmung in Richtung Ost hat eine Zunahme der Sonnenscheindauer zur Folge. Sämtliche Wetterelemente zeigen eine Abhängigkeit bezüglich der Höhenwindrichtung.

Die Südwestlagen sind überdurchschnittlich warm. Eine Drehung des Höhenwindes in Richtung West bewirkt eine Zunahme der Niederschlagstätigkeit.

Tab. 12.4a Wetterlagen mit Boden- und Höhenströmung: Klimatologische Werte der Station Zürich.
Untersuchungsperiode: 1955 — 1968.

D, d	Strömungsrichtung		$\overline{\Delta S}$	Mittelwert der Abweichung der Sonnenscheindauer ΔS (h)				
n	Anzahl Tage		$s_{\Delta S}$	Standardabweichung (h)				
$\overline{\Delta T}$	Mittelwert der Temperaturabweichung ΔT (°C)		R1	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 1 mm (%)				
$s_{\Delta T}$	Standardabweichung (°C)		R10	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 10 mm (%)				
D	d	n	$\overline{\Delta T}$	$s_{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$	$s_{\Delta S}$	R1	R10
6 / -7	+5 / 8	351	1.8	3.9	-1.5	2.6	74.9	22.2
+7	6 / 8	88	-1.6	3.2	-2.3	2.4	72.7	10.2
-1	6	21	-2.3	2.4	-2.9	4.2	76.2	14.3
-1	-7 / 8	163	-1.7	3.5	-1.5	3.1	44.2	5.5
-1	-1	23	-4.1	3.0	-2.8	2.9	34.7	13.0
-1	-5 / +5	39	-3.5	2.7	-4.2	2.4	76.9	28.2
+1 / 2	6	68	-2.8	2.7	-1.0	3.3	39.7	5.9
+1 / 2	-7	104	-2.5	3.3	-0.1	3.3	27.9	4.8
+1 / 2	+7	122	-1.3	3.2	0.6	3.6	19.7	2.5
+1 / 2	8 / +1	316	-2.7	3.1	1.1	3.4	9.1	0.6
+1 / 2	2	34	-5.0	4.5	-1.4	3.9	20.5	2.9
+1 / 2	-5 / +5	95	-4.2	3.6	-3.1	2.9	55.8	14.7
+3 / 4	4 / +5	108	0.7	3.4	0.2	2.8	18.5	0.9
-5	4 / -7	215	3.1	2.9	0.6	3.0	36.8	9.4
+5	6 / -7	108	3.5	3.2	0.3	3.0	62.9	25.9
+5	-5 / +5	174	3.0	3.0	0.3	3.3	55.7	17.8

Abb. 12.5

GEN F

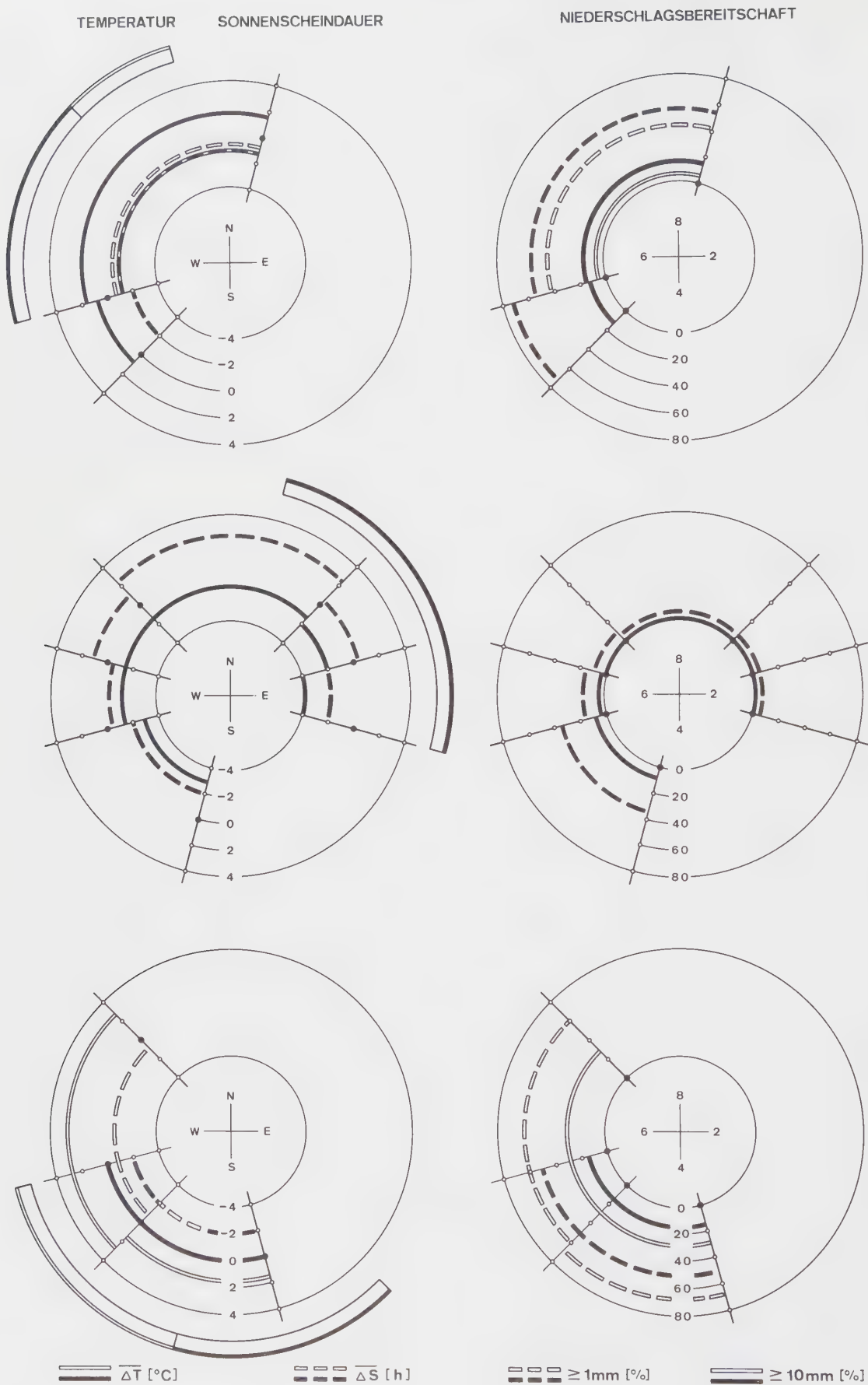


Abb. 12.6

DAVOS

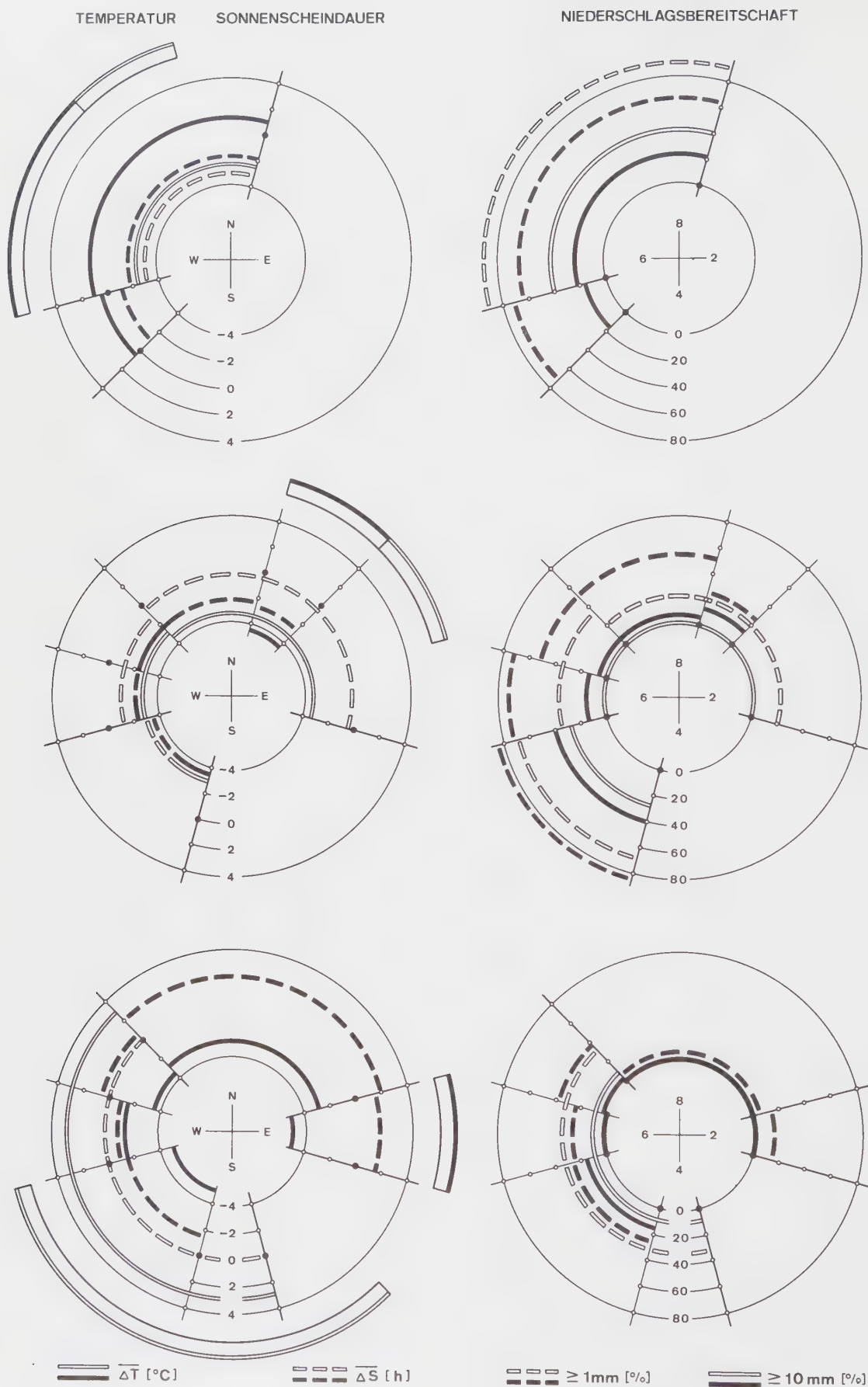


Abb. 12.6 Wetterlagen mit Boden- und Höhenströmung der Station Davos.

Die Kreisringabschnitte ausserhalb der Windrosen zeigen die Richtung der Bodenströmung (nur in den Figuren links eingezeichnet). Die Darstellung der entsprechenden Höhenströmung geschieht mit Hilfe der Windrosen. Diejenigen links enthalten zusätzlich zur Richtung der Höhenströmung die Mittelwerte der Temperaturabweichung $\overline{\Delta T}$ bzw. der Abweichung der Sonnenscheindauer $\overline{\Delta S}$, diejenigen rechts die Niederschlagsbereitschaft R1 (≥ 1 mm) und R10 (≥ 10 mm). Die beiden Linienarten (dicke Linie, dünne Doppellinie) geben die Richtung der Bodenströmung an. Infolge ihrer zu kleinen Gruppengrösse sind die fehlenden Windsektoren nicht untersucht worden.

Mit Bezug auf die Bodenströmung weisen die Westlagen eine ansprechende Niederschlagstätigkeit auf. Eine Strömungsänderung in Richtung Nord hat eine starke Abkühlung zur Folge. Die Niederschlagsbereitschaft ist bei diesen Wetterlagen auffallend hoch und es werden bedeutende Niederschlagsmengen erreicht.

Die Wetterlagen mit Strömungsrichtungen NNE und ENE sind kalt und ebenfalls sonnenarm. Die Niederschlagsbereitschaft zeigt eine deutliche Abhängigkeit bezüglich der Höhenwindrichtung, wobei besonders bei den Gegenstromlagen starke Niederschläge auftreten.

Die Ostlagen zeigen die grössten negativen Temperaturabweichungen. Bei nordnordwestlichen bis östlichen Höhenwinden ist es im allgemeinen sonnig und trocken.

Die Wetterlage mit Strömungsrichtungen SSE bis WSW ist überdurchschnittlich warm.

Tab. 12.6a Wetterlagen mit Boden- und Höhenströmung: Klimatologische Werte der Station Davos.
Untersuchungsperiode: 1955 – 1968.

D, d	Strömungsrichtung		$\overline{\Delta S}$	Mittelwert der Abweichung der Sonnenscheindauer ΔS (h)				
n	Anzahl Tage		$s\Delta S$	Standardabweichung (h)				
$\overline{\Delta T}$	Mittelwert der Temperaturabweichung ΔT ($^{\circ}\text{C}$)		R1	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 1 mm (%)				
$s\Delta T$	Standardabweichung ($^{\circ}\text{C}$)		R10	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 10 mm (%)				
D	d	n	$\overline{\Delta T}$	$s\Delta T$	$\overline{\Delta S}$	$s\Delta S$	R1	R10
6 / -7	6 / 8	306	1.0	3.6	-1.9	2.3	64.1	21.9
6 / -7	+5	45	0.5	3.6	-1.1	3.4	71.1	17.8
+7	6 / 8	88	-2.4	3.5	-3.1	1.8	89.8	39.8
-1	6	21	-2.1	3.4	-2.2	3.2	71.4	14.3
-1	-7 / 8	163	-2.5	3.7	-2.3	2.5	52.2	3.7
-1	-1	23	-4.3	3.5	-2.7	2.9	21.7	13.0
-1	-5 / +5	39	-3.3	2.9	-3.4	2.8	84.7	38.5
+1	6 / -7	103	-2.5	3.1	-1.2	3.0	33.9	1.9
+1	+7 / 2	265	-3.2	3.9	-0.3	3.2	20.8	0.4
+1	-5 / +5	64	-3.1	3.4	-3.3	2.3	68.7	28.1
2	6	35	-1.6	3.3	-0.9	3.2	22.9	0.0
2	-7	34	-3.6	4.1	0.5	3.2	32.3	2.9
2	+7 / +1	187	-2.9	3.8	1.9	2.8	3.2	0.0
2	2	20	-5.1	4.4	1.7	3.1	15.0	0.0
2	-5 / +5	31	-4.9	4.1	-1.5	3.3	29.0	16.1
+3 / +5	4 / -7	628	2.9	2.9	-0.1	2.9	30.4	7.6

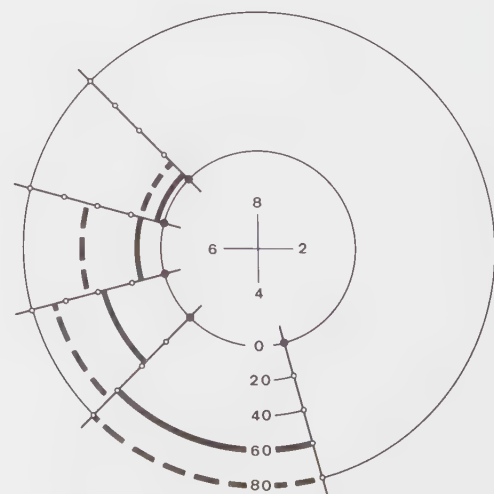
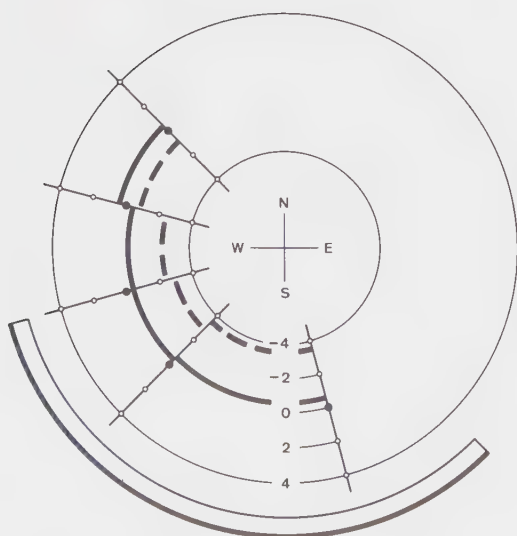
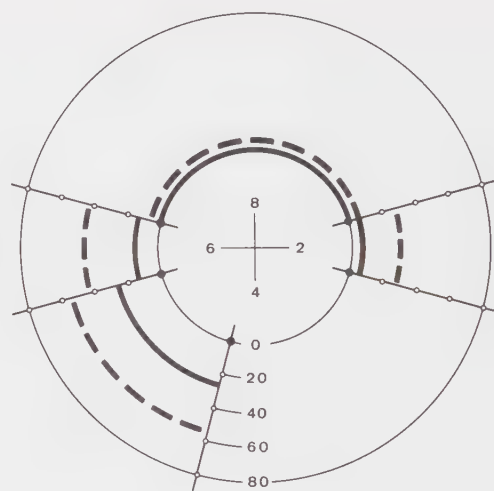
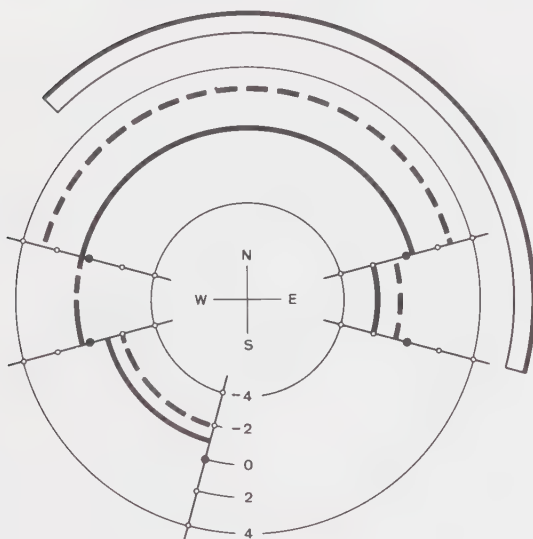
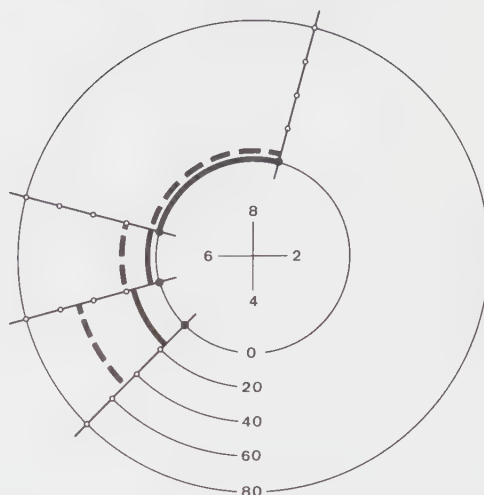
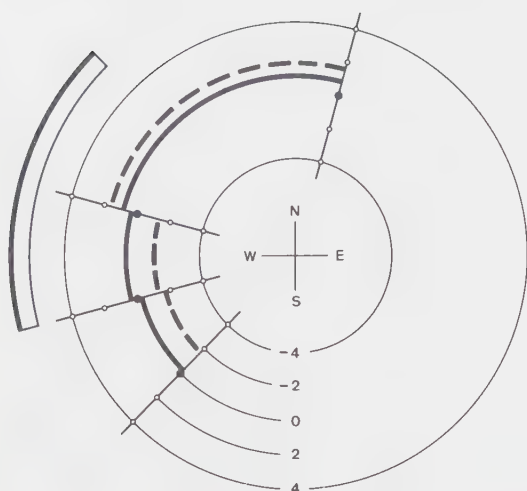
Abb. 12.7

LUGANO

TEMPERATUR

SONNENSCHINDAUER

NIEDERSCHLAGSBEREITSCHAFT



— $\overline{\Delta T}$ [°C]

- - - $\overline{\Delta S}$ [h]

- - - $\geq 1\text{mm}$ [%]

— $\geq 10\text{mm}$ [%]

Abb. 12.7 Wetterlagen mit Boden- und Höhenströmung der Station Lugano.
 Die Kreisringabschnitte ausserhalb der Windrosen zeigen die Richtung der Bodenströmung (nur in den Figuren links eingezeichnet). Die Darstellung der entsprechenden Höhenströmung geschieht mit Hilfe der Windrosen. Diejenigen links enthalten zusätzlich zur Richtung der Höhenströmung die Mittelwerte der Temperaturabweichung $\overline{\Delta T}$ bzw. der Abweichung der Sonnenscheindauer $\overline{\Delta S}$, diejenigen rechts die Niederschlagsbereitschaft R1 (≥ 1 mm) und R10 (≥ 10 mm).
 Infolge ihrer zu kleinen Gruppengrösse sind die fehlenden Windsektoren nicht untersucht worden.

Mit Bezug auf die Höhenströmung sind die Wetterlagen mit Strömungsrichtungen WNW bis ENE meist sonnig und trocken. Die Ostlagen zeigen die grössten negativen Temperaturabweichungen.

Die Wetterlagen mit Strömungsrichtungen S bis WSW sind ausgesprochen sonnenarm und zeichnen sich aus durch eine hohe Niederschlagsbereitschaft mit ergiebigen Niederschlägen.

Tab. 12.7a Wetterlagen mit Boden- und Höhenströmung: Klimatologische Werte der Station Lugano.
 Untersuchungsperiode: 1955 – 1968.

D, d	Strömungsrichtung		$\overline{\Delta S}$	Mittelwert der Abweichung der Sonnenscheindauer ΔS (h)				
n	Anzahl Tage				$s\Delta S$	Standardabweichung (h)		
$\overline{\Delta T}$	Mittelwert der Temperaturabweichung ΔT (°C)				R1	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 1 mm (%)		
$s\Delta T$	Standardabweichung (°C)				R10	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 10 mm (%)		
D	d	n	$\overline{\Delta T}$	$s\Delta T$	$\overline{\Delta S}$	$s\Delta S$	R1	R10
6 / -7	6	103	0.2	1.9	-1.3	3.2	19.4	2.9
6 / -7	-7 / 8	203	0.9	2.5	1.7	2.8	3.4	0.0
6 / -7	+5	45	-0.1	2.4	-1.7	3.5	48.9	15.6
+7 / 2	6	102	0.4	2.4	0.3	3.3	42.1	12.7
+7 / 2	-7 / +1	854	0.4	2.9	2.8	2.6	4.4	0.9
+7 / 2	2	36	-2.0	3.1	-0.6	3.6	27.8	5.6
+7 / 2	-5 / +5	141	-1.1	2.8	-2.1	3.3	53.2	26.2
+3 / +5	6	106	-0.2	2.3	-2.2	3.0	45.7	14.3
+3 / +5	-7	53	0.2	2.0	-0.8	3.0	15.1	3.8
+3 / +5	4 / -5	219	-0.6	2.7	-3.7	2.7	79.9	58.9
+3 / +5	+5	250	-0.1	2.4	-2.9	2.8	66.4	38.0

Tab. 12.3b Strömungslagen mit Boden- und Höhenströmung der Periode 1955 – 1968:
Regressionsgrössen bei Verwendung der Temperaturabweichung (abhängige Variable) der
Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano.

D, d	Strömungsrichtung	t	t-Wert
n	Anzahl Tage	r	Korrelationskoeffizient
x_i	miteinbezogene unabhängige Variablen (standardisiert)	F	F-Wert
a	Regressionskonstante	s_*	mittlerer Fehler der Regressionswerte (°C)
b_i	Regressionskoeffizient		

Die Regressionskoeffizienten (aufgrund des t-Wertes) sowie die Korrelationskoeffizienten (aufgrund des F-Wertes) sind bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0.001$ (⁰¹ $p < 0.01$; ⁰⁵ $p < 0.05$) signifikant von Null verschieden.

Säntis

D	d	n	x_i	a	b_i	t	r	F	s_*
6 / -7	+5 / 8	351	Δ_{rn}	-0.8	3.7	53.8	0.94	2890.8	1.3
+7	6 / 8	88	Δ_{rn}	-1.2	3.4	24.0	0.93	576.3	1.2
-1	-5 / 6	60	Δ_{rn}	-1.5	2.4	5.8	0.93	169.0	1.2
			Δ_{hh}		1.2	3.6			
-1	-7 / 8	163	Δ_{rn}	-1.0	3.7	35.6	0.94	1269.0	1.3
-1	-1	23	Δ_{rn}	0.5	4.0	13.2	0.96	114.8	1.3
			ggg		-1.1 ⁰¹	-2.8			
+1	-5 / 6	97	Δ_{rn}	-0.8	2.4	6.8	0.88	161.3	1.6
			Δ_{hh}		1.3	4.1			
+1	-7	70	Δ_{rn}	-0.9	3.6	15.9	0.89	253.4	1.6
+1	+7 / -1	215	Δ_{rn}	-0.7	4.1	41.1	0.94	1691.8	1.5
+1	+1	36	Δ_{rn}	-1.8	2.9	6.5	0.96	194.0	1.5
			Δ_{hh}		2.0	4.8			
2	-5 / 6	66	Δ_{rn}	0.1	4.0	17.0	0.90	289.0	1.7
2	-7	34	Δ_{rn}	-0.6	3.8	17.4	0.95	304.0	1.3
2	+7 / -1	131	Δ_{rn}	0.9	3.9	25.0	0.93	398.0	1.7
			ggg		-2.0	-6.6			
2	+1	56	Δ_{rn}	-0.7	3.0	7.2	0.93	180.7	1.8
			Δ_{hh}		1.5	3.6			
2	2	20	Δ_{rn}	0.3	2.9	6.9	0.85	47.4	2.2
+3 / -5	4 / -7	339	Δ_{rn}	1.1	2.6	22.3	0.92	963.3	1.2
			Δ_{hh}		1.3	12.0			
+5	-5 / 6	247	Δ_{rn}	0.3	2.9	16.9	0.92	697.0	1.3
			Δ_{hh}		1.1	8.3			
+5	-7	35	Δ_{rn}	-2.1	3.9	16.6	0.96	119.7	1.0
			ggg		-2.0	-4.2			
			$rn-rn_v$		-0.7	-4.3			

Zürich

D	d	n	x_i	a	b_i	t	r	F	s_*
6 / -7	+5 / 8	351	Δrn	1.6	3.5	26.8	0.83	380.0	2.2
			$rn-rn_v$		-0.6	-6.8			
+7	6 / 8	88	Δrn	0.6	2.5	9.4	0.71	88.6	2.3
-1	6	21	Δrn	-0.5	1.8	6.2	0.91	28.8	1.1
			ggg		-1.7 ⁰¹	-3.5			
			HHn-HHn _v		0.7 ⁰¹	2.9			
-1	-7 / 8	163	Δrn	1.5	3.2	18.2	0.83	122.8	2.0
			ggg		-1.0	-3.9			
			$rn-rn_v$		-0.9	-5.4			
-1	-1	23	Δrn	-2.2	2.3	4.7	0.72	22.4	2.2
-1	-5 / +5	39	Δrn	-1.3	2.6	5.5	0.67	29.9	2.1
+1 / 2	6	68	Δrn	-1.1	2.3	8.1	0.71	66.0	1.9
+1 / 2	-7	104	Δrn	1.4	2.7	13.2	0.88	109.7	1.6
			ggg		-2.0	-5.4			
			$rn-rn_v$		-0.8	-3.9			
+1 / 2	+7	122	Δrn	0.3	2.8	15.5	0.82	238.9	1.9
+1 / 2	8 / +1	316	Δrn	-1.5	2.1	17.0	0.69	288.5	2.3
+1 / 2	2	34	Δrn	-2.5	3.2	6.7	0.76	44.4	3.0
+1 / 2	-5 / +5	95	Δrn	-1.4	2.8	8.6	0.66	73.3	2.7
+3 / 4	4 / +5	108	Δrn	-1.4	3.4	9.9	0.69	97.9	2.5
-5	4 / -7	215	Δrn	0.3	3.2	17.0	0.76	287.6	1.9
+5	6 / -7	108	Δrn	1.7	3.5	15.0	0.83	119.4	1.8
			$rn-rn_v$		-0.8	-4.9			
+5	-5 / +5	174	Δrn	0.8	3.1	16.0	0.77	255.3	1.9

Genf

D	d	n	x_i	a	b_i	t	r	F	s_*
6 / -7	6 / 8	306	Δrn	1.6	3.1	21.5	0.78	234.5	2.3
			$rn-rn_v$		-0.8	-8.1			
6 / -7	+5	45	Δrn	0.8	3.0	9.9	0.83	98.7	2.1
+7	6 / 8	88	Δrn	1.2	2.4	7.8	0.64	61.0	2.7
-1 / 2	6	89	Δrn	-0.4	2.8	13.8	0.83	95.2	1.6
			$rn-rn_v$		-0.9	-5.0			
-1 / 2	-7	156	Δrn	1.0	2.6	14.7	0.76	215.7	2.0
-1 / 2	+7 / -1	480	Δrn	-0.2	2.3	23.8	0.74	293.9	2.0
			$rn-rn_v$		-1.1	-11.4			
-1 / 2	+1	97	Δrn	-1.3	1.7	7.2	0.60	52.2	2.3
-1 / 2	2	36	Δrn	-1.5	3.2	7.6	0.79	57.3	2.6
-1 / 2	-5 / +5	134	Δrn	-1.2	2.8	11.8	0.73	75.2	2.1
			$rn-rn_v$		-0.8	-4.1			
+3 / 4	4 / +5	108	Δrn	-0.8	2.4	9.0	0.69	48.3	1.9
			$rn-rn_v$		-1.0	-4.6			
-5 / +5	+5 / -7	360	Δrn	0.7	2.6	15.1	0.62	227.4	2.4
-5 / +5	4 / -5	144	Δrn	-0.3	2.2	9.2	0.61	84.5	2.1

Davos

D	d	n	x_j	a	b_j	t	r	F	s_*
6 / -7	6 / 8	306	Δrn	0.8	3.5	35.5	0.90	648.8	1.6
			$rn-rn_v$		-0.8	-11.0			
6 / -7	+5	45	Δrn	0.1	3.5	12.9	0.91	95.1	1.6
			$rn-rn_v$		-0.6 ⁰¹	-2.7			
+7	6 / 8	88	Δrn	-0.1	3.2	15.2	0.86	116.3	1.8
			$rn-rn_v$		-0.8	-4.7			
-1	6	21	Δrn	0.8	2.9	10.0	0.95	87.9	1.1
			ggg		-2.0	-4.3			
-1	-7 / 8	163	Δrn	-0.2	3.6	23.4	0.88	277.6	1.8
			$rn-rn_v$		-0.8	-5.5			
-1	-1	23	Δrn	-1.6	3.2	8.8	0.90	41.9	1.6
			$rn-rn_v$		-1.1 ⁰⁵	-2.6			
-1	-5 / +5	39	Δrn	-0.8	3.0	6.5	0.73	42.3	2.0
+1	6 / -7	103	Δrn	1.0	3.1	17.6	0.89	128.8	1.4
			ggg		-1.7	-5.3			
			$rn-rn_v$		-0.8	-5.0			
+1	+7 / 2	265	Δrn	-0.9	3.5	31.3	0.89	495.5	1.8
			$rn-rn_v$		-1.2	-10.6			
+1	-5 / +5	64	Δrn	-0.6	3.7	13.9	0.87	97.4	1.7
			$rn-rn_v$		-0.6 ⁰¹	-3.0			
2	6 / -7	69	Δrn	0.4	3.9	18.8	0.92	186.3	1.5
			$rn-rn_v$		-0.6 ⁰¹	-3.2			
2	+7 / 2	207	Δrn	-1.4	3.5	23.1	0.85	266.2	2.1
			$rn-rn_v$		-1.1	-7.4			
2	-5 / +5	31	Δrn	-0.6	3.5	6.9	0.79	47.0	2.6
+3 / +5	4 / -7	628	Δrn	0.8	3.3	38.4	0.84	743.4	1.6
			$rn-rn_v$		-0.6	-9.4			

Lugano

D	d	n	x_j	a	b_j	t	r	F	s_*
6 / -7	6	103	Δrs	-0.6	1.5	8.4	0.64	70.5	1.5
6 / -7	-7 / 8	203	Δrs	0.5	1.0	7.4	0.46	54.6	2.3
6 / -7	+5	45	Δrs	-0.4	2.1	8.7	0.80	74.9	1.5
+7 / 2	6	102	Δrs	0.5	1.8	11.3	0.75	127.4	1.6
+7 / 2	-7 / +1	854	Δrs	1.0	2.0	31.2	0.73	486.8	2.0
			$rs-rs_v$		-0.7	-12.4			
+7 / 2	2	36	Δrs	0.2	2.3	8.9	0.84	79.4	1.7
+7 / 2	-5 / +5	141	Δrs	-0.9	2.1	11.4	0.70	65.5	2.0
			$rs-rs_v$		-0.8	-4.5			
+3 / +5	6	106	Δrs	-1.2	2.2	13.0	0.79	169.0	1.4
+3 / +5	-7	53	Δrs	-0.7	1.6	5.8	0.63	34.2	1.5
+3 / +5	4 / -5	219	Δrs	-1.4	2.3	12.1	0.63	146.4	2.1
+3 / +5	+5	250	Δrs	-1.0	2.0	14.3	0.67	204.7	1.8

13. Kernlagen

13.1. Wirbellagen

Die Wirbellagen sind mit vier Prozent des Untersuchungstotals auffallend schwach vertreten. Das Häufigkeitsmaximum liegt im Winter; die jahreszeitlichen Unterschiede sind jedoch gering. Die grösste Gruppe ist diejenige der zyklonalen Höhenwirbel, welche etwa vierzig Prozent des Wirbellagentotals enthält.

Die Wetterelemente Temperatur und Sonnenschein liegen im Mittel weit unter ihren Normalwerten. Mit den zyklonalen Bodenwirbellagen ist eine ausgeprägte Niederschlagstätigkeit verbunden.

Tab. 13.1a Wirbellagen der Periode 1955 – 1968:

Klimatologische Werte der Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano.

D, d	Strömungsart	$\overline{\Delta S}$	Mittelwert der Abweichung der Sonnenscheindauer ΔS (h)
n	Anzahl Tage	$s\Delta S$	Standardabweichung (h)
$\overline{\Delta T}$	Mittelwert der Temperaturabweichung ΔT (°C)	R1	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 1 mm (%)
$s\Delta T$	Standardabweichung (°C)	R10	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 10 mm (%)

Säntis

D	d	n	$\overline{\Delta T}$	$s\Delta T$	$\overline{\Delta S}$	$s\Delta S$	R1	R10
–9	–5 / +5	18	–1.3	3.4	–3.1	3.3	94.4	44.4
–1 / +1	–9	36	–6.6	3.1	–2.8	3.3	72.2	33.4
2	–9	18	–5.4	4.0	–1.3	4.6	44.5	5.6
0	–9	21	–3.0	3.3	–1.3	4.3	42.8	9.5
–1 / 2	9	21	–3.7	3.7	–1.5	4.3	38.0	19.0

Zürich

D	d	n	$\overline{\Delta T}$	$s\Delta T$	$\overline{\Delta S}$	$s\Delta S$	R1	R10
–9	–5 / +5	18	–2.0	2.6	–3.6	2.0	88.8	44.4
–1 / +1	–9	36	–4.5	3.4	–1.6	3.0	75.0	11.1
2	–9	18	–5.0	4.3	–1.5	3.2	33.4	5.6
0	–9	21	–2.1	2.4	–1.2	3.2	47.6	9.5
–1 / 2	9	21	–3.2	2.6	–1.3	2.6	19.0	0.0

Genf

D	d	n	$\overline{\Delta T}$	$s\Delta T$	$\overline{\Delta S}$	$s\Delta S$	R1	R10
–9	–5 / +5	18	–2.3	2.4	–5.5	2.1	83.3	44.4
–1 / 2	–9	54	–3.3	3.2	0.2	3.1	13.0	0.0
0	–9	21	–2.2	2.8	–1.1	3.5	38.1	9.5
–1 / 2	9	21	–2.2	2.4	0.2	4.0	9.5	0.0

Davos

D	d	n	$\overline{\Delta T}$	$s\Delta T$	$\overline{\Delta S}$	$s\Delta S$	R1	R10
–9	–5 / +5	18	–1.1	3.3	–3.1	2.9	77.8	55.6
–1 / 2	–9	54	–5.1	4.0	–1.7	3.2	29.7	1.9
0	–9	21	–3.1	2.4	–0.6	3.1	38.1	4.8
–1 / 2	9	21	–3.4	3.1	–2.2	3.2	23.8	0.0

Lugano

D	d	n	$\overline{\Delta T}$	$s\Delta T$	$\overline{\Delta S}$	$s\Delta S$	R1	R10
–9	–5 / +5	18	–1.7	2.0	–5.0	2.6	94.4	83.3
–1 / 2	–9	54	–1.8	2.8	0.4	3.5	13.0	1.9
0	–9	21	–2.7	2.6	–2.3	3.5	38.1	9.5
–1 / 2	9	21	–0.3	1.9	0.4	4.0	0.0	0.0

Tab. 13.1b Wirbellagen der Periode 1955 – 1968:
Regressionsgrössen bei Verwendung der Temperaturabweichung (abhängige Variable) der
Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano.

D, d	Strömungsart	t	t-Wert
n	Anzahl Tage	r	Korrelationskoeffizient
x_i	miteinbezogene unabhängige Variablen (standardisiert)	F	F-Wert
a	Regressionskonstante	s_*	mittlerer Fehler der Regressionswerte (°C)
b_i	Regressionskoeffizient		

Die Regressionskoeffizienten (aufgrund des t-Wertes) sowie die Korrelationskoeffizienten (aufgrund des F-Wertes) sind bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0.001$ (⁰¹ $p < 0.01$; ⁰⁵ $p < 0.05$) signifikant von Null verschieden.

Säntis

D	d	n	x_i	a	b_i	t	r	F	s_*
–9	–5 / +5	18	Δr_n	–0.6	4.2	9.7	0.92	93.7	1.3
–1 / 2	–9	54	Δr_n	–0.7	3.7	17.8	0.93	318.4	1.3
0	–9	21	Δr_n	0.2	4.1	14.9	0.96	222.4	1.0
–1 / 2	9	21	Δr_n	–0.3	3.9	6.1	0.81	36.7	2.2

Zürich

–9	–5 / +5	18	Δr_n	–1.6	2.6	4.6	0.75	21.2	1.8
–1 / 2	–9	54	Δr_n	–0.3	2.9	6.6	0.67	43.1	2.8
0	–9	21	Δr_n	–0.7	1.7 ⁰¹	3.0	0.57	14.9	2.0
–1 / 2	9	21	Δr_n	–1.4	2.0 ⁰¹	3.3	0.60 ⁰¹	10.9	2.1

Genf

–9	–5 / +5	18	Δr_n				(0.38)		
–1 / 2	–9	54	Δr_n	–0.1	2.2	5.3	0.59	27.6	2.6
0	–9	21	Δr_n	–0.7	2.0 ⁰¹	2.9	0.55 ⁰¹	8.5	2.4
–1 / 2	9	21	Δr_n	–0.6	1.9 ⁰¹	3.4	0.62 ⁰¹	11.7	1.9

Davos

–9	–5 / +5	18	Δr_n	–0.5	3.9	7.8	0.89	61.4	1.5
–1 / 2	–9	54	Δr_n	0.0	3.5	8.2	0.75	66.7	2.7
0	–9	21	Δr_n	–1.5	2.1	4.2	0.69	17.4	1.8
–1 / 2	9	21	Δr_n	–1.2	2.6 ⁰¹	3.8	0.66	14.4	2.4

Lugano

–9	–5 / +5	18	Δr_s	–1.8	2.5	4.3	0.73	18.1	1.4
–1 / 2	–9	54	Δr_s	0.9	1.8	5.0	0.57	25.0	2.3
0	–9	21	Δr_s	–0.5	1.6 ⁰⁵	2.2	0.45 ⁰⁵	4.8	2.4
–1 / 2	9	21	Δr_s				(0.38)		

13.2. Schwachwindlagen

Elf Prozent des Untersuchungstotalts sind Tage, die sowohl am Boden als auch in der Höhe eine flache Druckverteilung aufweisen. Mehr als die Hälfte des Schwachwindlagentotalts entfällt auf die Monate Juni, Juli, September und Oktober. Das jahreszeitliche Häufigkeitsminimum liegt im Winter.

Wie bei den Wirbellagen wird auch hier nur die rel. Topographie als signifikante Variable ausgewählt. Die Abhängigkeit zwischen dieser Alpenwetterstatistikvariablen und der Temperatur der Stationen Zürich, Genf, Davos und Lugano ist jedoch bei den Schwachwindlagen je nach Jahreszeit verschieden, was für die Regressionsanalyse eine Aufteilung des Datenmaterials bedingt.

Tab. 13.2a Schwachwindlagen der Periode 1955 – 1968:
Klimatologische Werte der Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano.

n =	560 Tage	$\overline{\Delta S}$	Mittelwert der Abweichung der Sonnenscheindauer ΔS (h)
$\overline{\Delta T}$	Mittelwert der Temperaturabweichung ΔT (°C)	$s_{\Delta S}$	Standardabweichung (h)
$s_{\Delta T}$	Standardabweichung (°C)	R1	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 1 mm (%)
		R10	Niederschlagsbereitschaft, ≥ 10 mm (%)

	$\overline{\Delta T}$	$s_{\Delta T}$	$\overline{\Delta S}$	$s_{\Delta S}$	R1	R10
Säntis	2.7	3.2	2.7	4.2	28.0	10.9
Zürich	1.6	3.1	1.5	3.8	17.8	4.1
Genf	1.1	2.6	0.9	3.4	17.8	3.0
Davos	1.6	2.8	1.6	3.3	21.2	3.9
Lugano	0.8	2.2	0.7	3.5	21.3	7.9

Tab. 13.2b Schwachwindlagen der Periode 1955 – 1968:
Regressionsgrößen bei Verwendung der Temperaturabweichung (abhängige Variable) der Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano.

So-Halbjahr: Frühling und Sommer (n = 299 Tage)

Wi-Halbjahr: Herbst und Winter (n = 261 Tage)

x_i	miteinbezogene unabhängige Variablen (standardisiert)	r	Korrelationskoeffizient
a	Regressionskonstante	F	F-Wert
b_i	Regressionskoeffizient	s_*	mittlerer Fehler der Regressionswerte (°C)
t	t-Wert		

Die Regressionskoeffizienten (aufgrund des t-Wertes) sowie die Korrelationskoeffizienten (aufgrund des F-Wertes) sind bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0.001$ signifikant von Null verschieden.

Säntis	x_i	a	b_i	t	r	F	s_*
Jahr	Δn	0.9	4.1	51.2	0.91	2617.9	1.3
Zürich							
So-Halbjahr	Δn	0.8	3.6	27.7	0.85	765.9	1.6
Wi-Halbjahr	Δn	−0.4	2.1	10.6	0.55	111.9	2.4

Genf	x_j	a	b_j	t	r	F	s_*
So-Halbjahr	Δ_{rn}	0.3	3.0	23.1	0.80	533.0	1.5
Wi-Halbjahr	Δ_{rn}	−0.3	1.6	8.8	0.48	77.9	2.0
Davos							
So-Halbjahr	Δ_{rn}	0.4	3.3	29.1	0.86	849.2	1.4
Wi-Halbjahr	Δ_{rn}	0.0	2.8	17.5	0.74	305.5	1.9
Lugano							
So-Halbjahr	Δ_{rs}	0.3	2.6	22.7	0.80	513.9	1.5
Wi-Halbjahr	Δ_{rs}	0.3	1.4	11.3	0.57	127.6	1.6

Literaturverzeichnis

- (1) Baur, F.: Einführung in die Grosswetterkunde.
Wiesbaden, Dietrichsche Verl., 1948. 167 S.
- (2) Baur, F.: Grosswetterkunde und langfristige Witterungsvorhersage.
Frankfurt a.M., Akad. Verlagsges., 1963. 91 S.
- (3) Blüthgen, J.: Allgemeine Klimageographie.
Berlin, Walter de Gruyter, 1964. 599 S.
- (4) Fliri, F.: Wetterkunde von Tirol.
Innsbruck 1962. 436 S. = Tiroler Wirtschaftsstud. Bd. 13.
- (5) Ginsburg, Th.: Die statistische Auswertung von langjährigen Temperaturreihen.
Zürich 1970. VI + 41 S. = Veröff. d. Schweiz. Meteorolog. Zentralanst. Nr. 19.
- (6) Hess, P.;
Brezowsky, H.: Katalog der Grosswetterlagen Europas. 2. Aufl.
Offenbach a.M. 1969. = Ber. d. Dtsch. Wetterdienstes. Bd. 15, Nr. 113. 14 + 56 S.
- (7) Heyer, E.: Witterung und Klima.
Leipzig, B.G. Teubner, 1963. 439 S.
- (8) Kreyszig, E.: Statistische Methoden und ihre Anwendungen. 3. Aufl.
Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht, 1968. 422 S.
- (9) Linder, A.: Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure. 4. Aufl.
Basel, Birkhäuser, 1964. 484 S.
- (10) Mäder, F.: Untersuchung über die Windverhältnisse in Bodennähe bei verschiedenen Witterungslagen. Diss.
Zürich 1968. 42 S. = Veröff. d. Schweiz. Meteorolog. Zentralanst. Nr. 9.
- (11) Schüepp, M.: Ziele und Aufgaben der Witterungsklimatologie.
In: Vierteljahresschr. d. Naturforsch. Ges. in Zürich, 110/1965 (3): S. 405–418.
- (12) Schüepp, M.: Kalender der Wetter- und Witterungslagen von 1955 bis 1967 im zentralen Alpengebiet.
Zürich 1968. 43 S. = Veröff. d. Schweiz. Meteorolog. Zentralanst. Nr. 11.
- (13) Schüepp, M.;
Fliri, F.: Witterungsklimatologie.
Zürich 1967. = Veröff. d. Schweiz. Meteorolog. Zentralanst. Nr. 4, S. 215–229.
- (14) Taubenheim, J.: Statistische Auswertung geophysikalischer und meteorologischer Daten.
Leipzig, Geest & Portig, 1969. 386 S.
- (15) Ueberla, K.: Faktorenanalyse.
Berlin, Springer, 1968. 399 S.
- (16) Weber, E.: Grundriss der biologischen Statistik. 6. Aufl.
Stuttgart, Gustav Fischer, 1967. 674 S.
- (17) Zurmühl, R.: Praktische Mathematik für Ingenieure und Physiker. 5. Aufl.
Berlin, Springer, 1965. 561 S.

Lebenslauf

von Walter Kirchhofer, geboren am 12. März 1939 in Aarau, Bürger von Auenstein.

Nach dem Besuch der Primarschule in Veltheim AG und der Bezirksschule in Schinznach-Dorf begann ich eine Lehre als Maschinenzeichner bei der Firma Sprecher & Schuh in Aarau und beendete diese im Jahre 1959. Im Frühling 1961 trat ich in die Schule der Akademikergemeinschaft Zürich ein, um mich neben meiner beruflichen Tätigkeit auf die Maturitätsprüfung vorzubereiten. Nach Erlangung des Maturitätszeugnisses Typus C immatrikulierte ich mich im Sommersemester 1965 an der Philosophischen Fakultät II der Universität Zürich und begann mit dem Geographiestudium physikalisch-meteorologischer Richtung. Von 1967 bis 1969 war ich Lehrer am Institut Juventus Zürich und unterrichtete vom Herbst 1968 bis Herbst 1969 gleichzeitig am Realgymnasium Zürichberg. Neben dem Schuldienst legte ich an der Universität Zürich die Prüfungen in den Nebenfächern Geologie, Mathematik und Physik ab. Seit Herbst 1969 bin ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich tätig.

Vorlesungen und Übungen besuchte ich bei den folgenden Professoren und Dozenten:

Geographie und Meteorologie: Bachmann, Bär, Boesch, Bögli, Furrer, Gensler, Gutersohn (ETH), Guyan, Henking, Haruko Kishimoto, Kuhn (ETH), Schüepp, Steiner, Suter.

Physik: Heitler, Verena Meyer, Waldner.

Mathematik: Burckhardt, Ginsburg (ETH), Karrer, Strebel.

Geologie: Dal Vesco, Gansser, Trümpy.

Ferner: Angst, Bohren, Moor, Niederer, Rutishauser, Schweizer, Vogt, Waldmeier, Weber, Widmer.

Die vorliegende Dissertation entstand unter der Leitung der Herren Prof. Dr. H. Boesch und Prof. Dr. M. Schüepp.

